公立はこだて未来大学 2011 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University Hakodate 2011 System Information Science Practice

Group Report

プロジェクト名

電波望遠鏡および光学望遠鏡による宇宙探索

Project Name

Space exploration with radio and optical telescopes

グループ名

Group Name

プロジェクト番号/Project No.

17

プロジェクトリーダ/Project Leader

1009180　堀越久登　Hisato Horikoshi

グループリーダ/Group Leader

グループメンバ/Group Member

1009015　野口一樹　Kazuki Noguchi

1009059　見澤友哉　Yuya Misawa

1009095　鍔山　匠　Takumi Tsubayama

1008117　野久拓真　Takuma Nohisa

指導教員

Vladimir B. Riabov　村重淳

Advisor

Vladimir B. Riabov　Sunao Murasige

提出日

2012 年 1 月 18 日

Date of Submission

Janualy 18, 2012

概要

木星は太陽系の中で最大の惑星であるとともに強い電波を発する惑星でもある。そして、長年の間科学者や電波天文学者によって電波の観測、解析が行われてきた。木星の電波発生は衛星のイオが密接に関係しているとされており、発生する電波の中で S-バースト、L －バーストが観測しやすいものとされている。本プロジェクトの目標は、この 2 つの電波を受信し、解析することで受信した電波が木星からのものであるということを証明すること、グループメンバーで電波物理学などの知識を深めることである。また、今年は光学望遠鏡を用いて木星の撮影も行う。前期の活動内容としてはまずプロジェクトを始めるのに必要不可欠な知識を学ぶため、電波天文学などについての資料を読み、各自がプレゼンテーションをすることで理解を深めた。また、実際に電波の観測も行った。観測の際には広範囲の周波数を観測できるレシーバーを用いて行った。なお、観測可能な日程は NASA が提供するソフトウェアである Radio Jupiter Pro Jove Edition を用いて決定した。前期では観測を 6 月 23 日に行なったが、残念ながら木星の電波を受信することができなかった。後期では 10 月 14 日、10 月 21 日、10 月 28 日、11 月 4 日の 4 回観測を行い、その中の 10 月 28 日のデータから S-バーストが確認できた。そのため、S-バーストのドリフト率を過去の木星の電波であると証明されたドリフト率と比較したところ、過去のデータの範囲に含まれていることがわかった。このことから、木星の電波を広範囲の周波数を観測できるレシーバーを用いて受信できたと強く主張することが出来た。広範囲の周波数を観測できるレシーバーを用いての木星電波の受信は本プロジェクトが始まって以来、初めてのことである。また、観測システムのチェック方法も確立した。光学望遠鏡による天体観測においても、使用方法を学び、CCD カメラを用いて、木星やその周りの衛星、月の撮影に成功した。

キーワード　木星, イオ, 電波, S-バースト, 光学望遠鏡

（※文責: 野口一樹）

Abstract

Jupiter is the biggest planet in the Solar system that emits the strongest radio waves among all the planets.Many scientists and radio astronomers observed and analyzed radio waves from Jupiter. Radio emission received from Jupiter is often related to Io which is known as one of Jupiter's moons. S-burst and L-burst are known as the signals that we can catch easily. Main goals of this project are to catch these signals and prove that they come from Jupiter. Another purpose is to study Radio Astronomy. Contrary to previous years, this year we shall also use optical telescope to make a picture of Jupiter.

In the first semester, we learned many things about Jupiter and radio astronomy by making presentations taking turns in our group. We also tried to catch radio waves from Jupiter by using a receiver, which can catch wide-band signals. We found the dates when we could catch the radio waves from Jupiter with high probability as June 23rd and 30th. However, we observed on June 23rd only because of the bad weather on June 30th. In the observation of June 23rd , unfortunately, we couldn't catch the radio waves from Jupiter.

In the second semester, we tried to catch radio waves from Jupiter 4 times, on October 14th, 21st, 28th and November 4th. We analyzed these data by using IDL. As a result, in the observation of October 28th, we could find S-bursts. So, we calculated frequency drift rates and compared them to those reported in a research paper. Finally, we could confirm that we caught the radio waves from Jupiter. It is the only time in this project that we could catch the radio waves by using wide-band receiver. We could also take some photographs of Moon and Jupiter by using optical telescope.

Keyword Jupiter, Io, signal, S-burst, optical telescope

（※文責: 野口一樹）

目次

第 1 章　背景

地球上で初めて木星からの電波が発見されたのは 1955 年である。当時、ワシントンカーネギー研究所のバーナード・バークとケネス・フランクリンが、太陽系の惑星のうち、電波を放出しているいくつかの惑星について観測を行う事にした。その為に、受信装置のテストとして 22.2MHz の電波干渉計でおうし座のかに星雲の観測を続けていたところ、記録の中に時間的に激しい変化をするバースト状の電波がある事に気づいた。その後、電波が発生する時間帯、かに星雲との方向のずれ、木星の自転周期と一致する事を突き止めるなどして、この電波が木星から発生している事を確認した。本プロジェクトでは、この電波をダイポールアンテナと広範囲の周波数を観測可能な受信機（ペルセウスソフトウェア受信機）を用いて観測したあと、IDL というプログラミング開発環境で解析を試みた。また今年度より、Meade 社の ETX-90PE 望遠鏡を用いた天体観測も行う事にした。光学望遠鏡で木星とイオの位置関係を調べる事により、電波望遠鏡を用いて観測した電波が実際に木星から発生しているかどうかの裏付けにも挑戦している。

(Radio jove project　について)

NASA は宇宙科学の時代を担う世代を巻き込み、広く一般向けに研究成果を還元する取り組みである教育プロジェクト（アウトリーチ）を積極的に行なっている。このアウトリーチとして、NASA は木星電波や太陽電波を中心とした Radio JOVE プロジェクトを、1999 年にスタートさせた。Radio JOVE は、木星電波の事を意味し、プロジェクトリーダーである NASA のティーマン博士を中心に世界的な活動を行なっている。Radio Jove project とは、NASA が行う、世界中の高等教育機関に携わる生徒や宇宙科学に興味を持っている人々に、もっと宇宙からの電波に目を向けてもらう事を目的としているプロジェクトである。本学のほかに日本国内で Radio Jove project を行なっている機関として、高知県吾川郡仁淀川町にあるしもなの郷吾川木星電波観測所[1]、高知高専などが Radio Jove project に関わっている。

(Radio Jove project と本プロジェクトの関わり)

Radio Jove project と本プロジェクトは、使用機材の面で関わりがある。まず、木星電波を受信する為に、NASA 提供のアンテナキットを使用している。ダイポールアンテナと呼ばれる、2 対 1 セットのアンテナを 2 セット使用するという簡易的なアンテナではあるが、この機材で S-バーストと L-バーストの受信を目指す事になった。ちなみに、2006 年度と 2007 年度にはレシーバーも NASA から提供された組み立て式のレシーバーキットを使用していたが、これについては精度が低く、受信できる周波数域が狭い、さらにはノイズが混入しやすいなどという欠点があったため、これ以降は使用していない。2008 年度からは、PERCSUS という、広範囲の周波数を受信できるレシーバーを用いて、天体の電波を受信する事に挑戦している。次に、木星電波の観測日を決定する際に使用するソフトウェアである。Radio Jupiter Pro Jove Edition というソフトウェアを使用して、木星の位置、イオの位相、観測可能時間、観測できる確率を求めた。また、プロジェクトを遂行するにあたり、全てが英語表記されているものではあったが、必要な情報を得たり問題解決の為に随時 NASA の Radio Jove project のホームページを利用した。

（※文責: 野久拓真）

1.1 前年度の成果

2006 年に始まったこのプロジェクトは、NASA が提供するレシーバーキット、同じく NASA 提供のダイポールアンテナを組み立て、木星からの電波観測が行われた。2006 年はアンテナを一組だけ使用し、受信した電波が木星から届いたものであるらしい事だけが分かった。2007 年は観測した電波が木星から来ている事の検証に重点が置かれた。その為にまず木星の電波の特徴であるS-バーストに着目し、それに適した観測システムとデータ解析法を考え、ダイポールアンテナを 1 組から 2 組に増設し、レシーバーも同じく 2 台使用する事で、S-バーストの検出に成功し、特に S-バーストの大きな特徴であるドリフト現象の検出に成功した。2008 年はレシーバーを前年度までのものから高性能のレシーバーに変更した。このレシーバーは広範囲の周波数を一度に受信できる為、S-バーストのドリフト現象を確認しやすくなった。2009 年には、ノイズ対策を行ったが、高性能のレシーバーは壊れてしまった為、従来のレシーバーを二つ使用する方法で電波を観測した。受信した電波が木星からの電波である事の証明をしたほか、歴代のプロジェクトで初となる L-バーストである可能性の高いデータを捉える事が出来た。2010 年には、木星のみならず、太陽とパルサー電波の観測を行った。パルサー電波を解析するプログラムを作成したものの、明確な電波を受信する事は出来なかった。

（※文責: 野久拓真）

1.2 現状における問題点

まず、木星電波の観測に適していると思われる日程を定め、観測に備える為にしっかりとしたスケジュールを組む事が求められている。過去の電波観測では、木星から放出された電波の特徴である S-バーストについては観測がなされているものの、解析をする際に取得したデータの中に周期的なノイズが入ってしまう事が挙げられる。L-バーストについても、過去に一度だけしか受信出来ていないという問題がある。また、天体望遠鏡については今年度に初めて使用するので、実際に天体観測が行えるよう操作方法を熟知する必要がある。天体望遠鏡だけでなく、パソコンに繋ぐ CCD カメラや、つないだ後に使用するキャプチャーソフトなどについても、万全の準備を怠る事のないよう、使用方法について学ばなければならない。

（※文責: 野久拓真）

1.3 課題の概要

過去のプロジェクト活動において、木星から放出された電波の特徴の一つである S-バーストについては観測、解析がなされているものの、解析においては更なるノイズの除去が必要である。また、L-バーストについても同様に、明確にそれと分かるものが得られる程度の、ノイズの除去が必要である。さらに、観測の準備、使用機材の点検などが必要になってくるので、木星電波を観測する為の日程を活動の早い段階で決定しておかなければならないという事も重要である。光学望遠鏡については、今年度から初めて使用する為、マニュアルをしっかりと読み込み、実際の天体撮影

に問題がなくなる程度まで熟知する必要がある。また、望遠鏡だけでなく、CCD カメラ、キャプチャーソフト（Autostar Envisage）の使用方法についても、学ぶ必要がある。

（※文責: 野久拓真）

第 2 章　到達目標

2.1　本プロジェクトにおける目的

活動の始めに、木星についての知識を得るための学習を、セミナーという形で行う。その上でアンテナやレシーバ、解析方法といった実際に観測に必要な事を学び、木星から放出されたと思われる電波の観測を行い、その中から S-バーストの有無を調べる。これら、電波望遠鏡での電波観測と共に、光学望遠鏡を用いての天体観測を行う事で、木星の位置の裏付けをする。捉えた電波が木星からのものであるという事を出来るだけわかりやすい形で証明する事が、本プロジェクトにおける目的である。

（※文責: 野久拓真）

2.1.1　通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点

プロジェクト学習ではグループ活動という点を活かし、一人では組み立てられない、大掛かりなアンテナの設置を行った。また、プロジェクトメンバー全員で作業をするだけでなく、それぞれ役割を分担する事で作業の効率を上げる事もグループ活動の利点である。プロジェクトメンバーを電波望遠鏡班と光学望遠鏡班に分け、それぞれ木星電波の観測、天体の観測を行った。

（※文責: 野久拓真）

2.2　具体的な手順・課題設定

1. セミナー
   まず、基礎的な天文学の知識を得る為に、NASA がまとめた電波天文学のテキスト [3] の輪読を行い、メンバーがそれぞれの分野ごとに担当を決め、プレゼンテーションを行う。内容は主に、天文学の歴史、アンテナの種類、木星電波について、太陽電波についてである。加えて、アンテナ、レシーバなどの電波観測に必要な知識を指導教員、過去の資料から学ぶ。

2. 観測日時の決定
   観測日の予測には、NASA が提供する Radio-Jupiter Pro Ediotion というソフトウェアを用いて、木星、イオ、地球の位置関係を調べる事により、観測日を予測する。
3. 観測の実行
   実際の観測を行う前に、ダイポールアンテナを埋める場所を決めておく必要がある。計八本のポールを立てる位置を計算し、ドリルで穴を開ける。その後、セミナーで学んだ知識を生かし、観測を実行する。
4. 電波の解析
   アンテナで受信した電波を、レシーバを通しデータとして解析プログラムに送り、そこから IDL により一秒ごとのスペクトル図を作成する。その中に木星電波の特徴を持ったスペク

トル図がないか、目視で確認する。

5. 光学望遠鏡による天体の撮影
光学望遠鏡を CCD カメラ、パソコンに接続し、パソコン側で起動したキャプチャーソフトによって、望遠鏡が映している映像をディスプレイで確認する。実際の観測では、光学望遠鏡の天体自動追尾機能を用いて望遠鏡の視野を天体へと導く、そして、キャプチャーソフトを通し、CCD カメラで撮影する。

（※文責: 野久拓真）

2.3 課題の割り当て

(電波望遠鏡班)

・アンテナ・レシーバ班：見澤

アンテナとその周辺部品の管理と点検、修理を行う。電波観測の際のアンテナ設備の指示を行う。レシーバと観測用のパソコンおよび周辺機器の管理と操作を行う。

・解析班：野口

解析プログラムを用いた解析作業、今年度の解析プログラムの開発を行う。

(光学望遠鏡班)

堀越、鍔山、野久

・光学望遠鏡のマニュアルを読解し、使用方法について学ぶ。実際に天体の撮影を行う。

なお、ダイポールアンテナの組み立て、設置はプロジェクト全員で行う。

（※文責: 野久拓真）

第 3 章　課題解決のプロセスの概要

1. セミナー
    - 各々のメンバーが電波天文学の基礎的な知識を付ける為、担当した分野を学習したのちにセミナーを行った。具体的な内容と担当者は以下の通りである。

    1. 天文学の基礎 1　(担当：野久)
    2. 天文学の基礎 2　(担当：野口)
    3. 電波源としての木星 1　(担当：鍔山)
    4. 電波源としての木星 2　(担当：堀越)
    5. 電波源としての太陽と銀河背景　(担当：見澤)

    （※文責: 野久拓真）

2. 計測方法
    - 観測日の予測には、NASA が提供する Radio-Jupiter Pro Ediotion というソフトウェアを用いて、木星、イオ、地球の位置関係を調べる事により、観測日を予測する。
    - 実際の観測は、ダイポールアンテナ、PERSEUS レシーバを使用し観測を行った。、木星電波観測に適した周波数 22.5MHz に設定し、アンテナの長さを決定した。

    （※文責: 見澤友哉）

3. データ解析
    - 昨年の解析プログラムを用い、周波数スペクトル図を作成し、S-バーストの有無を確認した。
    - S-バーストが 10 月 28 日に検出されたため、ドリフト率を計算し、過去に木星からの電波だと証明されたドリフト率との比較も行なった。
    - その結果、10 月 28 日のドリフト率が過去に木星からの電波だと証明されたドリフト率と近似していることがわかった。このことから、木星の電波を受信できたと強く主張することができる。

    （※文責: 野口一樹）

4. 光学望遠鏡による天体の撮影
    - 光学望遠鏡のマニュアルが英語の為、各自和訳し、使い方を学んだ。
    - 光学望遠鏡で撮影した画像を PC に保存するためのキャプチャーソフトの使い方を理解した。
    - 実際に光学望遠鏡を用いての月、木星などの天体の撮影を行った。

    （※文責: 堀越久登）

第 4 章　課題解決のプロセスの詳細

4.1　セミナー

木星とガリレオ衛星

1. 木星とイオ

木星は太陽系の第 5 惑星であり、太陽からの平均距離は約 8 億 km である。地球から太陽までの平均距離は約 1 億 5000 万 km であり、これら 2 つの値を比べてみると、地球の 5 倍以上太陽から離れたところに木星は位置しているといえる。地球と木星の距離は 8 億 km と 1 億 5000 万 km の差をとり、約 6 億 5000 万 km という様に計算することはできない。それは地球と木星において、2 つの天体の公転周期や軌道が異なっていることからである。

木星は太陽系最大の惑星であり、その体積は地球の約 1300 倍、質量は地球の約 318 倍、赤道部分の直径は地球のと比べて 11 倍もある。体積のわりに質量が小さいのは、木星が水素を主成分とするガス惑星だからである。木星の内部構造は木星の内部構造は、中心に様々な元素が混合した高密度の中心核があり、そのまわりを液状の金属水素と若干のヘリウム混合体が覆い、その外部を分子状の水素を中心とした層が取り囲んでいるものと考えられる。ただ、現在ではこの構造ははっきりとわかっていない。また木星は木星はー 2 等星からー 3 等星という非常に明るい惑星であり、またその大きさから地球からはっきりと目視することが可能である。他に目視できる天体としては、太陽、月、金星、火星などが挙げられる。地球から見える木星は、火星と同じ、あるいはそれ以上に明るく見えるため、木星は、地球から見える天体の中で 4 番目に明るい星だと言われている。

天体望遠鏡で木星を観察してみると、木星には白色や茶色の特徴的な縞模様があることがわかる。この縞模様は木星の雲によって形成されている。木星の縞模様は、速い自転運動と大気中の大きな流れが関係している。木星では赤道付近は秒速約 100m の西風が吹き、そして中緯度にいくにつれて、西風と東風が吹いている地帯が交互に現われるという特徴があります。また赤外線の観測から、縞の部分はそのあいだの白い帯の部分よりも少し温度が高いことがわかってる。このようなことから、縞は東風と西風のあいだの下降気流がおこっているところで、高度の低い雲が見えている部分、また逆に、縞と縞のあいだの帯は、上昇気流がおきていて高い雲が見える部分と考えられている。そして木星の表面には大赤班と呼ばれる特徴的な渦も存在している。大赤班の大きさは、長さが約 24，000 ｋm、幅が約 13, 000km となり、地球が 2 つ程も並ぶ大きさとなっている。大赤班は巨大な大気の渦となっており、地球上でいう台風みたいなものである。しかし、大赤班が出現した理由や数百年間もの間、存在しているのかなど、大赤班については解明されていないことも多く存在する

　地球の自転周期が約 24 時間であるのに対して、木星の自転周期は約 10 時間程度であり、木星の方がはるかに高速で自転していることがわかる。太陽系の惑星として位置づけられているものの中では、木星の自転周期は 1 番短く、太陽系の惑星の中でもっとも早く自転している天体だといえる。また、木星には地球で観測される四季のような季節変化はほとんどないと考えられている。地球で四季が観測される要因として、地軸が地球の公転面に対して一定の角度で傾きながら自転しつつ、太陽の周りを公転しているからである。しかし、木星



図 4.1　木星の縞模様と大赤斑 [1]

の自転軸はほぼ垂直であるため、木星には四季のような季節変化はないという推測がされている。　木星は非常に強力な電波を発している。木星の主成分は水素であるが、中でも金属水素が高速で自転している木星の影響により磁場を作る。木星の磁気圏は太陽系最大の物体で、その大きさは、直径約 14 万キロとなっており、木星自身の 100 倍にも達する巨大な泡状の物体である。衛星を含む木星系の物体のすべては、この磁気圏の中に包み込まれている。

木星は 60 以上の衛星をもっており、この衛星の数は太陽系の惑星の中でも最高である。そのなかでもイオ、エウロパ、ガニメデ、カリストと呼ばれる衛星が有名である。これら 4 つの衛星は 1610 年にガリレオ・ガリレイが発見したことから、ガリレオ衛星と呼ばれており、他の木星の衛星と比べて特に大きく、簡単に観測することが可能である。ガリレオ衛星の平均の等級が 5 から 6 となっており、目視することも可能な範囲ではあるが、実際には星が非常に明るいため、目視することは難しい。このガリレオ衛星が木星の電波発生に関して大きな役割を担っている。

2. ガリレオ衛星

イタリアの天文学者ガリレオ・ガリレイが 1610 年に発見した木星の 4 個の大きな衛星を、ガリレオ衛星あるいはガリレオの 4 大衛星と呼ばれている。4 個の衛星というのは、イオ、エウロパ、ガニメデ、カリストの 4 衛星のことを示す。明るさは約 6 等級であり、7 倍以上の双眼鏡や小望遠鏡でもよく見え、木星のまわりを回るようすは非常に興味深く、木星の影に隠れたり、木星面に黒い影を落としたり、さらに時期によっては衛星どうしの食を見ることが可能である。ガリレオ・ガリレイはこの 4 大衛星の運動から地動説の確信を深めた伝えられている。よく名前を聞くガリレオ・ガリレイだが、どのような人物であったか簡単に説明したい。1564 年 2 月 15 日 (ユリウス暦) に、イタリア北部のピサで生まれる。17 歳のとき医者を志してピサ大学に入学するも、当時の外科手術のあまりの気持ち悪さに耐えられず大学を中退。当時の外科手術といえば、麻酔も無いまま患部を切り取るようなものであり、患者は大声で叫びながらもがき苦しむ壮絶なものだったとされる。その後に数学者として活動することに決め、物理学・天文学に多大な功績を残しており、実験結果を数学的に分析す



図 4.2　木星（左）とガリレオ衛星（上から、イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト）

る、という画期的な手法を実践した最初期の科学者とされる。ガリレオ・ガリレイは数々の業績を残しており、簡単に説明したいと思う。ガリレオ・ガリレイは望遠鏡を最も早くから取り入れた一人である。ネーデルラント連邦共和国（オランダ）で 1608 年に望遠鏡の発明特許について知ると、1609 年 5 月に一日で 10 倍の望遠鏡を作成し、さらに 20 倍のものに作り変えたとされる。これを用いて、1609 年、月に望遠鏡を向けてみたガリレオ・ガリレイは、月面には凹凸があり、そして黒い部分があることを発見した。このとき、ガリレオ・ガリレイは黒い部分は海であると考えていた。現代ではこのような岩石型の天体の表面の凹凸はクレーターと呼ばれている。月は完璧に球形であるとする古いアリストテレス的な考えでは説明がつかないものである。また、翌年の 1610 年 1 月 7 日、木星の衛星を 3 つ発見している。その後見つけたもう 1 つの衛星とあわせ、これらの衛星ガリレオ衛星と呼ばれている。これらの観測結果は 1610 年 3 月に『星界の使者』(Sidereus Nuncius) として論文発表されており、この論文には、3 月までの観測結果が掲載されており、論文発表は 4 月以降と考えられたこともあるが、少なくとも、ドイツのヨハネス・ケプラーが 4 月 1 日にこの論文を読んだことが分かっている。ヨハネス・ケプラーとは、ドイツの天文学者であり、天体の運行法則に関するケプラーの法則を唱えたことで知られている。理論的に天体の運動を解明したという点において、天体物理学の先駆的存在だといえる。

ガリレオ・ガリレイの木星の衛星の発見は、当時信じられていた天動説については不利なものであり、世界的な名声を博した。晩年に、これらの衛星の公転周期を航海用の時計として使うことも提案しているが、精度のよい予報ができなかったことや、曇天時に使えない割には、船舶に大きな設備を積む必要があったことから、実際には使われることはなかった。金星の観測では、金星が満ち欠けする上に、大きさを変えることも発見しており、当時信じ

られていた天動説に従うならば、金星はある程度満ち欠けをすることはあっても、三日月のように細くはならず、また、地球からの距離は一定のため、大きさは決して変化しないはずである。さらに、望遠鏡での観測で太陽黒点を観測した最初の西洋人となっているが、ただし、中国の天文学者がこれより先に太陽黒点を観測していた可能性も示唆されている。形や位置を変える黒点は、天は不変で、月より遠い場所では永遠に変化は訪れないとする天動説には不利な証拠になり、これは、アリストテレス派の研究者と激しい議論となった。なお、ガリレオは晩年に失明しているが、これは望遠鏡で太陽を直接見たためだと考えられている。ガリレオ・ガリレイは 1597 年にヨハネス・ケプラーに宛てた手紙の中で既に地動説を信じていると記しているが、17 世紀初頭まではそれを公言することはなかったとされている。主にこれら 3 点、木星の衛星、金星の満ち欠け、太陽黒点の証拠から、地動説が正しいと確信したガリレオ・ガリレイは、この後、地動説に言及することが多くなった。このガリレオ・ガリレイが発見した、ガリレオ衛星について、説明していく。

3. イオについて

イオはガリレオ衛星と呼ばれるものの中では、もっとも内側に位置する天体である。木星からの平均距離は約 420，000km で、大きさは月と同じくらいであり、木星磁気圏内を公転している。公転周期は 1.8 日である。

イオは太陽系内では珍しく活発な火山活動を行っている。そして、そのことが木星からの電波発生に関して大きな役割を担っている。イオの火山活動が活発な理由は、木星や他の衛星から受ける重力の影響による、潮汐力のためだと考えられている。潮汐力とは、重力によって起こる二次的効果の一種であり、潮汐力は物体に働く重力場が一定でなく、物体表面あるいは内部の場所ごとに異なっているために起きる。ある物体が別の物体から重力の作用を受ける時、その重力加速度は、重力源となる物体に近い側と遠い側とでは大きく異なり、このことによって重力を受ける物体は体積を変えずに形を歪めようとする。球形の物体が潮汐力を受けると、重力源に近い側と遠い側の 2 ヶ所が膨らんだ楕円体に変形しようとする。これが潮汐力と呼ばれるものである。身近な例をあげると、潮の満ち干と潮流があり、これは月が地球に及ぼす潮汐力である。地球の自転は 6 時間ごとに 90 度回転しており、干潮と満潮をほぼ 6 時間ごとに繰り返す。満月や新月の時、太陽と月の潮汐力が重なり、普段よりも干満の差が大きくなり大潮となり、上弦や下弦の時は太陽と月の潮汐力が相殺され干満差の少ない小潮となる。イオの周りには、木星や衛星などの天体が数多く存在している。よってイオに働く潮汐力は非常に大きくなる。潮汐力によってイオは楕円形に歪められた状態になるため、そのときに生じる摩擦によって内部で熱エネルギーが生まれ、火山活動を活性化させていると考えられている。しかし、イオの他にも非常に強い潮汐力を受けている衛星はあるだろうが、他の木星の衛星では火山活動は行われていないため、イオが活発な火山活動をしている明確な理由はまだわかっていない。しかし、イオが活発な火山活動をしているのは明確であり、火山活動によってできたカルデラも多く発見されている。

イオの火山活動により噴出したガスの主成分は二酸化硫黄である。これがイオン化し宇宙空間に放出されることで、イオの軌道上にイオ・プラズマ・トーラスと呼ばれるプラズマの領域が作られる。この過程が木星からの電波発生の元となっている。プラズマとは、気体を構成する分子が部分的に、または完全に電離し、陽イオンと電子に別れて自由に運動している状態である

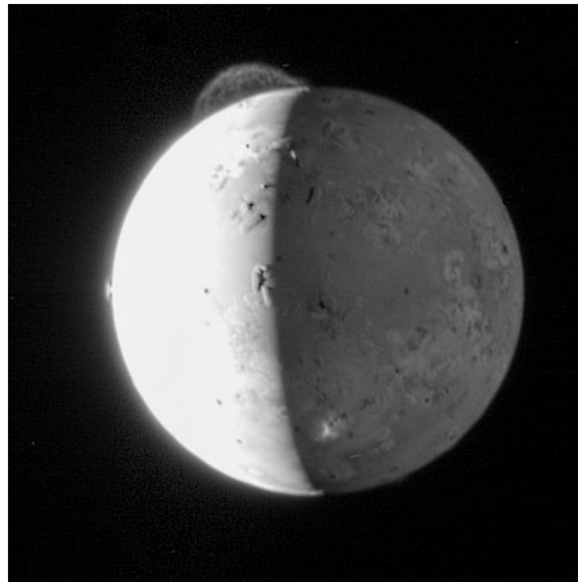


図 4.3　イオの噴火の様子

4. エウロパについて

エウロパはガリレオ衛星の中で内側から 2 番目に位置する天体である。木星からの平均距離は約 670,000km であり、大きさは月より少し小さいくらいである。比較的明るい衛星で、双眼鏡でも観察できる。少なくとも厚さ 3km 以上の氷で覆われており、所々にひび割れが走っている。イオの次に木星に近く、公転周期がイオの 2 倍、ガニメデの半分という軌道共鳴の状態にあるため、強い潮汐力の変動に晒されている。しかし、潮汐力による火山活動はないと考えられている。またエウロパ内部では潮汐力によっての熱エネルギーが発生し、これによりエウロパ内部の氷が解けてシャーベット上になっていたり、または液体の海になっている可能性も考えられる。エウロパの表面には大きな氷の塊も発見されており、滑らかでクレーターの跡が少ないことが知られている。これらが事実であれば、地球以外の天体に海がある可能性があり、生物の存在しているのではないかと考えられている。しかし、現在はまだ生命体の存在は確認されていない。

5. ガニメデについて

ガニメデはガリレオ衛星の中で内側から 3 番目に位置する天体である。木星からの平均距離は約 1,000,000km である。ガニメデは太陽系の衛星として数えられる天体の中では最も大きいとされており、赤道面の直系はイオの役 1.5 倍である。この大きさは水星も越える大きさとなっている。ガニメデもエウロパと同様に、表面が氷で覆われている。ガニメデの地表は、内側を回るエウロパと、外側を回るカリストの中間的な特徴を持っていると言え、ガニメデの表面を特徴付けているのが、明瞭に区切られた明暗 2 種類の地形である。暗い領域にはクレーターが多く、地殻変動をあまり受けていない古い地域である。一方、明るい領域には溝のような地形が卓越しておりクレーターが少なく、暗い領域よりも後に作られた領域であると考えられる。溝地形は、表面に生じた引っ張り応力による正断層の集合と考えられているが、詳しい成因は良く分かっておらず、似たような地形は同じガリレオ衛星であるエウロパや、土星の衛星エンケラドゥスにも見られる。

ガニメデの内部は地球のようにいくつかの層を成していると考えられている。21 世紀初

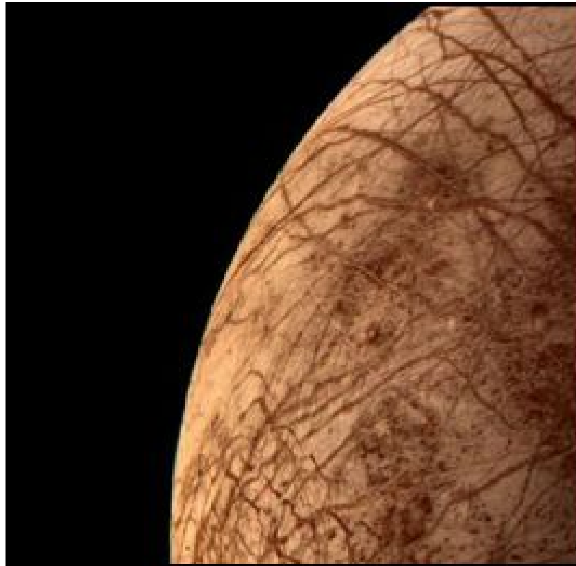


図 4.4　エウロパの表面

頭現在、ガニメデは中心から、液体金属質の核、岩石のマントル層、軟弱な氷の層、硬い氷の近くという構造に分離していると考えられており、ガニメデの磁場や地表の活動とこの内部構造の間には関連があると見られている。

ガニメデは太陽系の衛星の中では唯一磁場をもっている。しかし、この磁場の発生原因は現在ではよくわかっていない。木星や他の衛星からの重力を受け、潮汐力が働くことにより、エウロパの中心核が液状化していて、それがもととなって磁場を発生させているのではとも考えられているが、潮汐力だけでは現在観測されているほどの磁場をもつには至らないであろうという矛盾も指摘されている。



図 4.5　ガニメデの表面

6. カリストについて

カリストはガリレオ衛星の中では、最も外側を公転している天体である。木星からの平均距離は約 1,900,000km である。カリストもガニメデには及ばないものの、非常に大きな衛星

であり、赤道面の直径は月の 1,5 倍程である。カリストもエウロパやガニメデと同じく地表は氷で覆われている。また、エウロパやガニメデと同様に、カリストには内部の水の層があるのではないかと考えられている。カリストは木星の衛星の中で、最も多くのクレーターが残っている天体だといわれている。カリストは木星から非常に離れた位置を公転しているため、潮汐力の影響が少なく、地殻変動が起きにくいと考えられている。潮汐力の影響が強いと、地下から溶岩が噴出したり、地表自体が歪んだりする。そして、これらが起こると、地表は新しく再生されることになる。しかし、カリストではこのような現象が起きていないのである。つまり、カリストにできたクレーターの跡は消えることなく残り得るのである。そのため、カリストの表面からはヴァルハラ盆地と呼ばれる直径 3,000km 以上にもなる巨大クレーターや、カテナと呼ばれるクレーターの列も発見されている。



図 4.6　カリストの表面

7. ガリレオ衛星による木星への影響

木星の電波が発生するにあたり、重要な影響を及ぼすのがガリレオ衛星である。イオの火山活動により、噴出したガスが、木星の磁気圏内に高濃度のプラズマ領域を形成しているということが知られている。このようなことから、イオの火山活動が木星の電波発生について、非常に大きな影響を与えているということがわかる。木星の磁気圏内のプラズマのほとんどはイオの火山活動により、噴出したガスによるものであるので、イオがなければ木星の電波発生は起きなくなってしまうこととなる。また、イオの現在の公転周期も木星の電波発生には大きく関わっている。木星の電波発生に関わっているガリレオ衛星はイオだけであるかというと、そうではなくエウロパやガニメデも木星の電波発生に関わっている。イオが現在の公転周期を保っているのはこのエウロパ、ガニメデの影響があると考えられる。イオ、エウロパ、ガニメデには軌道共鳴という現象が働いている。この軌道共鳴とは、天体同士が規則的に重力を及ぼしあうために、軌道共鳴が働いている天体の公転周期を整数比で表すことができるという現象である。この軌道共鳴による整数比を見てみると、イオ：エウロパ：ガニメデ　1：2：4 となっている。これらの整数比がイオが現在の公転周期を保てている原因であると考えられている。また、軌道共鳴が働いていることによって、イオ、エウロパ、ガニメデにはお互いの重力による潮汐力が働いていることが考えられる。イオの火山活動が活発

な理由として潮汐力によるものであると考えられているが、木星による潮汐力以外にも、エウロパ、ガニメデの潮汐力が加わることによって、イオが火山活動をしているということも考えられる。木星の電波発生にはイオの火山活動により噴出するガスが深く影響してくるので、エウロパやガニメデも木星の電波発生に関わっている可能性もある。ゆえに、ガリレオ衛星は木星の電波発生に深く関わっていると言える。

（※文責: 鍔山匠）

木星の発生メカニズム

木星の電波発生メカニズムを理解するのは、木星と衛星のイオなどの基礎的な知識を必要とするので、順をおって説明していくことにする。

8. イオ・トーラスの発生
   木星の衛星の 1 つである衛星イオは火山活動が活発である。その火山活動により、火山が噴煙を出すとその塵などがイオの上空 300km まで上がる。この塵は主に二酸化硫黄からなる。この二酸化硫黄が噴火の勢いで宇宙空間上に出ると、イオの軌道上に二酸化硫黄の雲が残る。そして、太陽風と呼ばれる太陽から来る電磁波によって雲の中の二酸化硫黄が電離して、プラズマが発生する。そして、イオの軌道上にあるプラズマの集まりをイオ・トーラスという。また、太陽風とは、太陽から吹き出す極めて高温で電離した粒子のことである。

9. 電波、電磁波について
   木星の電波発生メカニズムの説明に必要な電磁波と電磁波について説明する。電波は電磁波の一種であり、電磁波は周波数によって、赤外線や可視光線、紫外線、さらに放射線と呼ばれるＸ線やγ線などと呼ばれて区分されている。自然界における電磁波の発生源として良く知られているのは太陽である。太陽から発せられた電磁波のうち 10MHz から 300MHz あたりの電波と、300THz から 1,000THz あたりの可視光線は、大気や電離層を通り抜けて地上に届くことが知られている。この電磁波だが、空間の電波と磁場の変化によって形成される波のことであり、電解と次回がお互いの電磁誘導によって交互に相手を発生させあうことで、電場や磁場が振動する状態が生まれる。なぜこのような状態がおきるのかは以下のようになる。木星の磁力線の中を荷電粒子が行ったり来たり振動などすると、右ねじの法則より、磁力線の周りに磁場が発生する。右ねじの法則とは、電流と磁場の向きに関する法則であり、電流を右ねじが進む方向に直進させると、磁場が右ねじの回転方向に生じることである。右手を握って親指を立てたとき、親指の指す方向を電流の向きとすると親指以外の指の方向が磁場の向きに一致することからこのような名前がついている。電流の向きを逆にすると磁場の向きも逆になる。たとえば水平に置かれた板の中心に導線を通し、導線を取り囲むように上下左右に方位磁針を配置して電流を流すと、方位磁針のＮ極は電流を追いかけるように向きを変える。このような法則を右ねじの法則という。さきほど発生した電磁誘導により、磁場の変化を打ちけすような電場が磁場と直行する方向に発生する。その後再び荷電粒子が戻ってくると、磁場の向きが逆になり、その変化を打ち消すように電場の向きが逆になり、その電場の変化を打ち消そうとした電場と直行した電場が発生することにより、互いに直行する電場と磁場が繰り返して発生し、その電場と磁場が空間へと放出されることにな

る。この電磁場の周期的な変動が周囲の空間に横波となって伝播していく、エネルギーの放射現象の一種となっている。

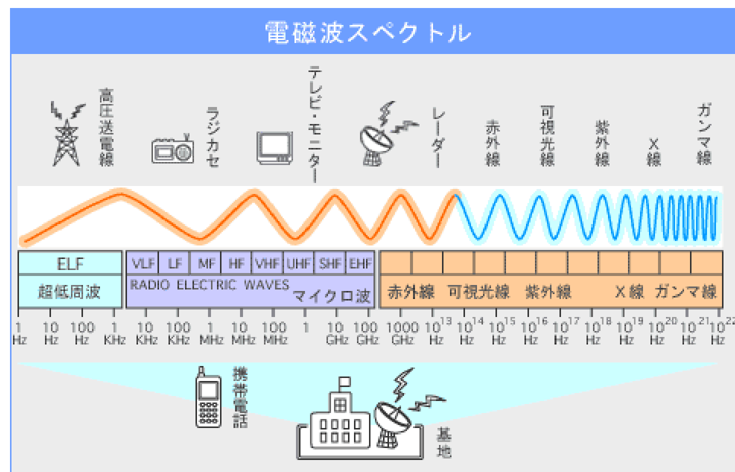


図 4.7 電磁波スペクトル図 [2]

10. まとめ

今までの説明もふまえて木星の電波発生メカニズムについて説明していく。まず図 4.7 を参照していただきたい。中央に位置してある縞模様の星が木星、木星から出ている緑色の線が木星の磁力線、木星のやや下にある小さな星がイオ、イオの周りを包んでいる白いドーナツ状の円がイオ・トーラスである。まず木星の磁力線をガリレオ衛星であるイオが通過する。これは木星の自転周期が 9 時間 50 分なのに対して、イオの公転周期が約 43 時間とこの 2 つの差によって生まれる。磁力線をイオが横切ったとき、強力な電磁誘導がおき、電圧が発生する。発生した電圧によって、イオ・トーラス内にある自由電子が加速していき、加速された自由電子が磁場曲線に沿ってらせん運動しながら移動していく。この自由電子がミラーポイントと呼ばれる磁場曲線が集中するところで、反射したとき、このミラーポイント付近で円錐状の電波が発生していく。この円錐状の電波がちょうど地球に当たるときに、地球上で木星電波を観測することが可能となる。よって木星、イオ、地球の位置関係で木星電波が受信可能かどうかも決まってくる。また、いくら受信可能であるとはいっても、木星電波は自然現象であり、受信できる日に必ず受信できるとは限らない。

（※文責: 鍔山匠）

観測する電波について

今回観測した電波は、周波数変化に特徴のある S-バーストというものである。また、S-バーストの他に木星電波には L-バーストというものもある為、順に説明する。

11. S-バースト

S-バーストとはごく僅かな時間で周波数が急激に変化する電波の事である。特に周波数が約 0.01〜0.1 秒の間で数 MHz 小さくなる現象をドリフト現象という。図 4.9 は S-バーストの

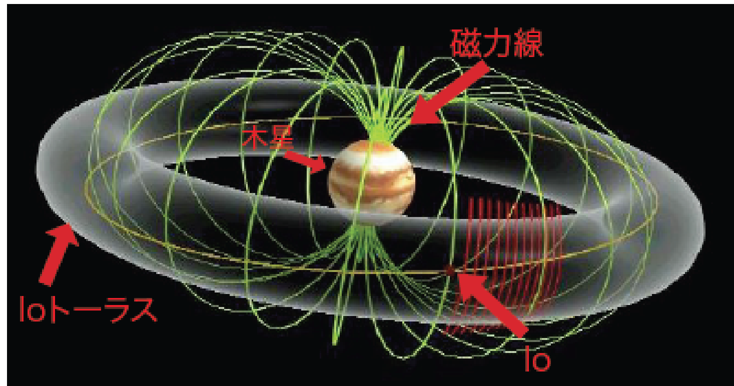


図 4.8　木星とイオ

スペクトログラムで、横軸が時間、縦軸が周波数を表している。左上から右下へ下がっている白い斜線が S-バーストの信号成分であるが、このスペクトログラムの信号成分を一つ見ると、0.1 秒間で約 1.8MHz ほど減少している事が分かる。このデータを音声変換すると、プツッ、プツッという、ポップコーンが弾ける際に発せられるような音が聞こえるので、その特徴は耳でも確かめる事が出来る。

また、S-バーストの波形は図 4.10 のようになる。この図は横軸が時間、縦軸が電波の強

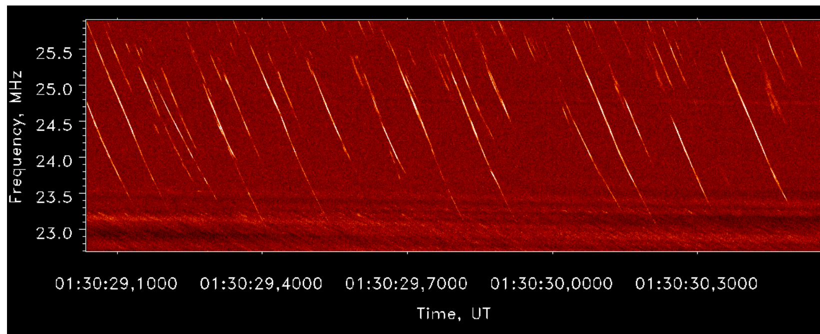


図 4.9　S-バーストのスペクトログラム（横軸：時間　縦軸：周波数）

度を表しているデータであるが、見て分かるように電波の強度も短時間で変化している。この事から、S-バーストは周波数だけでなく、電波が振動する変化も激しい事が分かる。

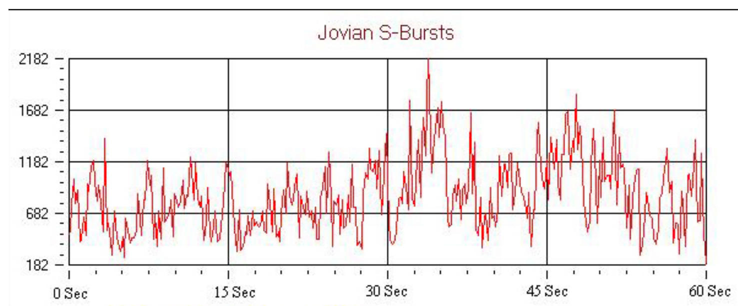


図 4.10　S-バーストの時系列データ

12. L-バースト

L-バーストはS-バーストとは対照的に、周波数が時間の変化と共に緩やかに増加していく電波の放射である。このため、他のノイズにかき消されたり、S-バーストのような目立つ特徴がないので、非常に観測しづらいバーストである。図 4.11 が L-バーストのスペクトログラムである。先程と同じく、横軸が時間、縦軸が周波数を表している。L-バーストの成分は白い靄のような部分を良く見ると分かるが、一番左端では周波数約 20.00～20.04MHz から始まり、一番右端では約 20.04～20.08MHz とゆっくり増加している事が分かる。これから、0.1 秒間で周波数が約 0.8MHz 増加している事が分かる。このデータを音声変換すると、S-バーストとはまた違った、海の波の音のような、ザーザーという音が聞こえる。

また、L-バーストの波形は図 4.12 のようになる。この図も S-バースト同様横軸が時間、

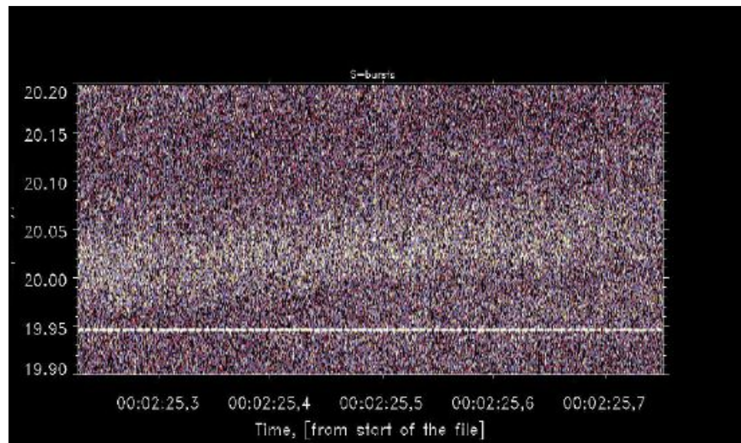


図 4.11　L-バーストのスペクトログラム

縦軸が信号の強度を表しているデータであるが、信号の強度は S-バーストほど短時間で変化していない。特に、S-バーストと違う点は、縦軸の信号の強度の部分で、かなり弱い信号である事が分かる。また、周波数だけでなく、電波の振動する変化の大きさも激しい事が分かる。図と図に出てくる L-バーストの波形とを見比べると、S-バーストと L-バーストの違いがよりはっきりする。

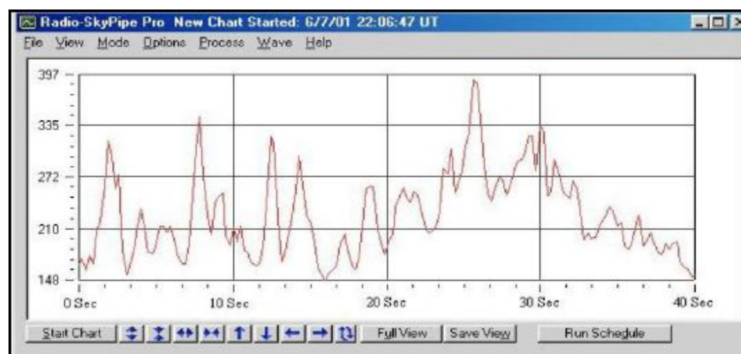


図 4.12　L-バーストの時系列データ

13. 観測電波の周波数

木星からは 3M～30MHz の電波が発生しているが、その内、観測しやすいのは 17～23MHz の間である。今年度は昨年と同様、地球やその他天体からの電磁波、受信確率を考慮し、木星電波を観測する周波数帯域は 22.5MHz に設定した。

（※文責: 野久拓真）

4.2　計測方法

木星電波予測ソフトウェア

1. 木星電波観測日の決定
木星からの電波は、発生メカニズム説明にあった通り限られた日時でしか観測ですることができない。観測するためには、観測可能な日時を予測しなければならない。観測日の予測には NASA の提供する Radio-Jupiter Pro というソフトウェアを用いた。以下に、観測可能な日時の予測の手を示す。　まず、観測する地域を選択する。Time zone の欄には＋９、Longitude の欄の：左側に半角で 220 を入れる。これでＯＫを押すと観測する地域が日本に設定される。
　次に、Predict ボタンを押して、図 4.14 のような画面を表示する。GMTdate はグリニッ

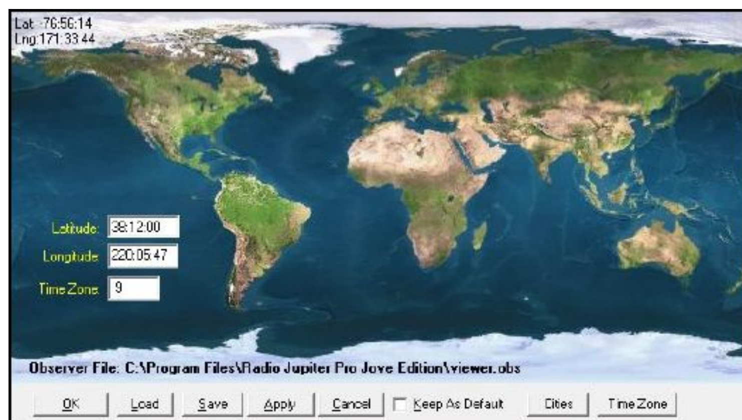


図 4.13　観測地域設定画面

ジ標準時で年月日を示している。Next Day ボタンと Previous Day ボタンで日にちを変更することができる。
　この画面の色分けしてある図は観測可能な電波の種類と観測できる時間を示している。背景が青に塗られている時間帯は木星が地平線の下に沈んでいるため観測ができない。この画面の表は観測可能な電波の種類と、観測可能な始めと終わりの時間を示している。この時間はグリニッジ標準時で書かれているため日本時間に直すために＋ 9 時間することを忘れないようにする。
　次に、観測可能な電波を受信できる確率を予測するために、CML-ioplane ボタンを選択する。選択すると 4.15 ような画面が表示される。縦軸はイオの位置、横軸は木星の位置を示している。斜めに書かれた数直線を木星が各時間ごとに移動する。緑や赤で示されているエリアに木星が重なる時間で、電波を受信できる。特に赤で示されているエリアに木星が重なる時間帯は確率が高くなっている。この 2 つを用いて観測可能な日時と、観測できる確率を予測する。
　最後に、観測するときの木星の位置を知るために Alt-AzGraph ボタンを押すと図 4.16 ような画面が表示される。横軸は方位角、縦軸は対地角を示していて、方位角は北を 90 度として時計回りを正の方向としてしましている。対地角は地平線からどのくらいの角度に木

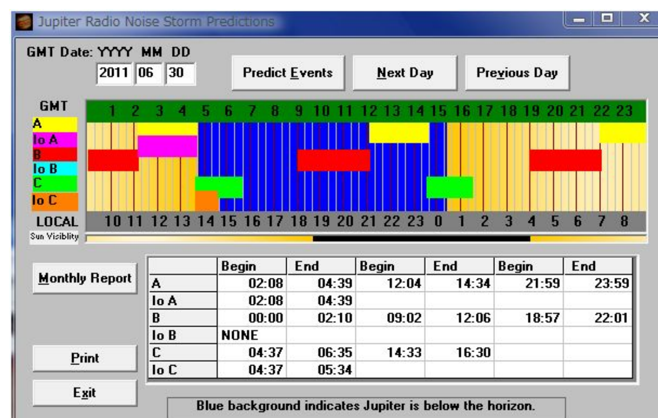


図 4.14　観測可能時間表示画面

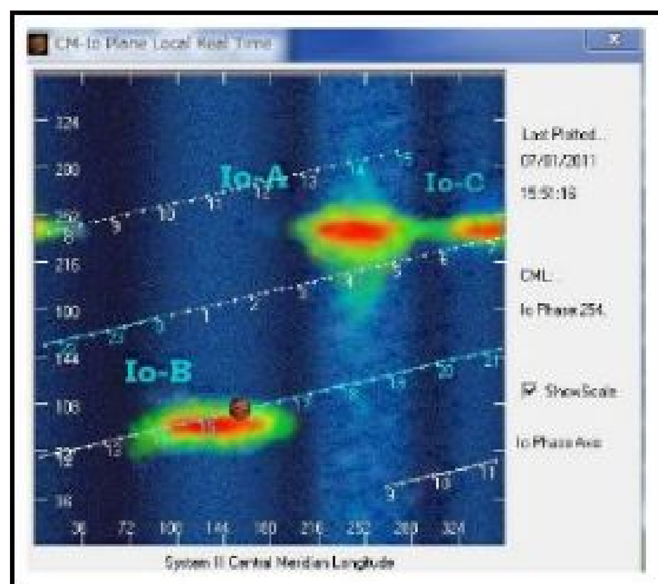


図 4.15　観測確率表示画面

星があるか示している。観測日時の木星の位置の合わせて、アンテナを立てる必要がある。

以下の表は、これらの機能を用いて観測予定日を示したものである。この表には、左から日付、電波のタイプ、観測可能な時間の始めと終わり、観測確率、特に確率が高い時間、観測開始時と終了時の木星の位置が書かれている。木星電波観測は、必ずしもプロジェクト時間内に行えるわけではないので、事前にこのような表を作り、教員やプロジェクトメンバーと予定を確認する必要がある。基本的には、観測確率が高い日時を観測日として選ぶのだが、真夜中の時間や、他の講義のある時間は避けた。今年度前期は、年 6 月 23 日　木曜日と 6 月 30 日木曜日を観測日とした。後期は、10 月 14 日金曜日、10 月 21 日金曜日、10 月 28 日金曜日、11 月 4 日金曜日、5 日土曜日を観測日とした。実際に観測を行ったのは、6 月 23 日、10 月 14 日、10 月 21 日、10 月 28 日、11 月 4 日の 5 回である。

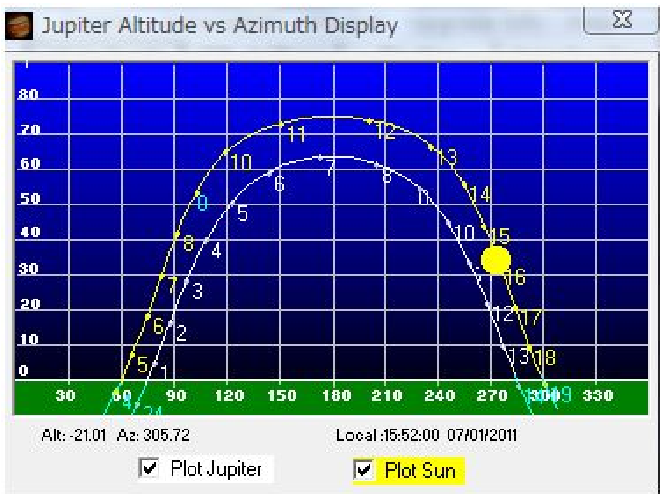


図 4.16　観測時の方位角・対地角表示画面

表 4.1　6 月の木星電波観測日

The date which we can catch raio from Jupiter in June.

Date	Radio	Begin	End	Probability	Good time	Beginning of ALT	beginning of AZ	Ending of ALT	Ending of AZ
6月1日	IoB	9:57	12:19	Soso		58.2	211.9	35.9	252.7
6月2日	IoA	8:08	8:29	Low		60.4	159.1	61.5	169.5
6月4日	IoA	2:00	2:22	Low		-0.21	75.2	2.1	78.7
6月7日	IoA	7:33	9:46	Low		59.1	150	57.8	215.2
6月8日	IoB	11:57	13:04	Low		36.2	253.2	22.3	265.1
6月9日	IoA	8:54	10:24	Low		61.7	194.1	51.98	231.2
6月11日	IoA	1:40	3:07	High	1:40-2:30	-0.14	75.2	15.5	88.5
6月12日	IoB	3:21	4:30	Low or Soso		18.9	91.1	32.4	102.6
6月14日	IoB	9:32	10:32	Low		57.2	218.9	48.3	238.5
6月16日	IoA	9:39	12:09	Low or Soso		55.6	224	29.4	260.6
6月18日	IoA	1:21	3:52	High	2:40-3:20	-0.05	75.4	29	96.9
6月19日	IoB	4:06	6:28	High	4:40-5:40	32.3	101.9	56.7	138.3
6月23日	IoA	10:24	13:54	High	11:00-12:00	45.1	244.4	4.6	280
6月24日	IoB	13:08	14:04	Low		13	274.5	2.1	283
6月25日	IoA	2:06	4:36	Low		12.8	85.3	41.9	111.3
6月26日	IoB	4:51	7:54	High	6:20-7:20	45.2	115.4	63	191.6
6月30日	IoA	11:08	13:39	High	12:00-13:20	32.9	258.6	3.4	282.4

表 4.2　10 月の木星電波観測日

The date which we can catch radio from Jupiter in October.

Data	Type	Begin	End	Probability	Good time	Beginning of ALT	Beginning of AZ	Ending of ALT	Ending of AZ
10月3日	A	23:43	2:14	So-so					
10月4日	B	2:28	5:04	high	3:00~4:20	56.0	228.8	42.4	250.6
10月5日	C	19:00	19:51	low					
10月6日	B	19:51	21:13	low					
10月10日	A	0:25	2:56	So-so					
10月10日	C	2:54	4:52	So-so					
10月11日	B	3:10	6:13	high	04:00~06:40	42.4	252.5	20.8	269.9
10月12日	A	17:12	18:37	low					
10月14日	A	17:44	20:00	So-so					
10月17日	A	1:07	3:37	low					
10月17日	C	4:05	5:33	low					
10月18日	B	4:51	6:55	So-so					
10月21日	A	18:25	20:56	high	19:00~20:00	19.3	89.4	31	99.1
10月24日	A	2:17	4:19	low					
10月26日	A	3:26	5:02	low					
10月28日	A	19:07	21:38	high	19:40~21:00	33.0	101.4	47.8	118.5
10月29日	B	21:52	23:07	So-so					
10月31日	A	4:01	5:01	low					

表 4.3　11 月の木星電波観測日

The date which we can catch radio from Jupiter in November.

Data	Type	Begin	End	Probability	Good time	Beginning of ALT	Beginning of AZ	Ending of ALT	Ending of AZ
11月2日	A	4:08	6:38	So-so					
11月4日	A	19:49	22:20	high	21:00~22:00	52.7	127.7	60.5	150.7
11月4日	C	22:18	23:24	low					
11月5日	B	22:34	0:51	high	23:00~00:20	63	189.0	56.9	222.2
11月7日	B	15:36	17:19	low					
11月11日	A	20:31	23:02	So-so					
11月11日	C	23:00	0:58	So-so					
11月12日	B	23:16	2:19	high	00:00~01:40	56.8	224.4	39.0	251.5
11月14日	B	17:21	18:01	low					
11月18日	A	22:14	23:44	low					
11月18日	C	0:49	2:40	So-so					
11月19日	B	0:40	3:02	So-so					
11月22日	A	14:33	17:03	So-so					
11月25日	A	22:03	0:27	low					
11月25日	C	1:35	2:23	low					
11月26日	B	2:26	3:44	low					
11月27日	A	23:34	0:50	low					
11月29日	A	15:15	17:46	high	16:00~17:00	16.7	89.4	28.5	99.2
11月30日	B	18:00	18:56	So-so					

レシーバ

レシーバとは受信機とも呼ばれ、通信機のうち、信号を受信し情報を復元する装置である。このプロジェクトにおいてレシーバは、アンテナが受信した木星からの信号を増幅し、必要な周波数の電波を取り出しし、アナログデータをデジタルデータに変換するために使用する。レシーバには必要な周波数のみを通し、他の周波数を通さないバンドパスフィルタが組み込まれている。バンド・パス・フィルタは高い周波数をよく通し、設定周波数より低い周波数を減衰させせるハイパス・フィルタと、低い周波数よく通し、設定周波数より高い周波数を減衰させせるローパス・フィルタを組み合わせたものである。

2. 今回プロジェクトで使用したレシーバ

今年度プロジェクトで用いたレシーバは Perseus というレシーバである。以前まで使用していたレシーバは単一周波数のみでしか電波を観測することができない。したがって木星電波の特徴であるｓ－バーストのドリフト現象のような、周波数の時間的変化を観測するためには 2 以上のレシーバを用いる必要があった。今年度プロジェクトで使用したレシーバは広範囲の周波数の電波を受信することができる。そのため、１つのレシーバで観測を行うことができる。このレシーバは、10KHz から 30KHz まで（最大 40KHｚ）の電波を受信することができ、最大で 1600KHz 帯域幅で電波を記録することができる。また、木星電波観測では用いることはできないが、10dB から 30dB まで 10dB 単位でアッテネータを設定することができる。これは、受信する電波が強すぎる場合にその電波を弱めることができる機能である。また、このレシーバでは受信した電波をリアルタイムでスペクトラム表示することができ、音への変換も自動的に行うことができる。さらに、保存したファイルの再生も簡単にできる。木星電波の特徴の 1 つである、ｓ-バーストのドリフトは、周波数が短時間に降下するので、このレシーバでこのドリフト現象を観測することができる。

3. PERSEUS レシーバの使い方

まず始めに、観測・記録に使用する PC にペルセウス・ソフトウェアのインストールを行う必要がある。ソフトウェアは、Peruseus レシーバに付属されている CD もしくは、レシーバの販売会社のホームページより入手できる。

　Perseus レシーバの初期画面は以下のようになっている。まず始めに、選局を行う。選局とは、受信する周波数を設定することである。選局の方法はいくつもあるが、周波数ペインに直接入力する方法が一番よく使われる。周波数ペインをダブルクリックして、周波数を入力するウィンドを出し、観測する周波数を入力する。入力単位は KHｚである。その他にも、周波数ペインの数字の桁にマウス・ポインタをおき、マウスのホイールをまわすことで、周波数を変更することができる。周波数の変更は、マウス・ポインタの位置によって桁を変えることができる。　　　その他にも、CF step を使う方法や、メインスペクトラム画面をマウスでドラッグして目的の周波数にあわせる方法がある。

4. Perseus レシーバのその他の機能

このレシーバには、受信を行う際にさまざまな機能を用いて、目的の電波を受信しやすくすることができる。以下では、その詳細について説明する。



図 4.17　Perseus レシーバソフトウェアの初期画面



図 4.18　Perseus の制御画面

1.ATT（アッテネータ）

　ATT とは入力信号を減衰させる機能である。この機能はラジオの電波などの強力な信号があるときに使用することができるが、入力信号そのものを減衰させるので、木星電波観測に使用するときは、常に off にする必要がある。

2.Prsel（プリセレクションフィルタ）

　目的のバンドの外の周波数にアナログ・デジタルコンバータが飽和するような、大変強力な信号がある場合に使用する。

3.Preamp（ADC プリアンプ）

　アナログ・デジタルコンバータに内蔵するプリアンプを有効にする。動作させるブロッキング・ダイナミック・レンジが多少劣化するが、受信機の感度が約２ｄＢ改善する。入力信

号が強力な場合は、効果がないが、微弱な入力信号を浮き出すことができる。木星電波観測においては、常に on にするべきである。

4.Dither(ADC ディザー)

アナログ・デジタルコンバータのディザー発生器を動作させ、スプリアスの振幅を軽減する。受信感度は約２ｄＢ劣化するが、スプリアスが改善する。本プロジェクトで使用するときは、この機能を使う必要はない。

5. セカンダリ・バンド幅・ウィンドウについて

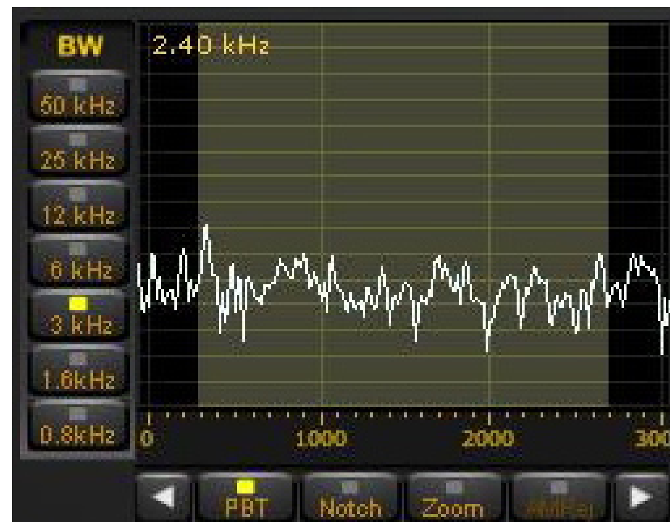


図 4.19　セカンダリ・バンド幅・ウィンドウ

セカンダリ・バンド幅ウィンドウには PBT、Notch、Zoom、AMRej の機能ボタンがある。PBT モードではセカンダリ・バンド幅ウィンドウにて、選局した周波数付近のより詳しく信号を調べるために使用する。この画面におけるバンド幅は、50KHｚからほぼ０まで連続的に変更することができる。ここで、注意すべきことは、ここで設定できるバンド幅は、この画面に表示する際のバンド幅である点である。プリセレクション・バンド幅は変更することができない。例えば、周波数を２２．５ MHｚに設定した場合のバンド幅は、１７－２４ MHz に設定される。Notch モードは目的の信号に接近する他のキャリア信号やスペクトラムを除外する機能である。Zoom 機能は、復調信号がメイン・スペクトラムに表示され、より細かい周波数分解表示される。AMRej 機能は、デジタル信号処理によって強いAM 混信信号どのように制御できるか、新しい試みである。

6. 記録と再生

Perseus レシーバは 1600KHｚ幅の高周波スペクトラムをファイルとして HDD へ記録（保存）することができる。記録されたファイルは簡単に再生することができる。再生時には、レシーバのほとんどの機能を使用することができる。このレシーバでは1600,800,400,200,100KHｚのスペクトラム・バンド幅の中からバンド幅を設定して記録することができる。保存するバンド幅の変更には SAMPLING　RATE（サンプリングレート）を設定するとよい。　サンプリングレートを 2000KS/s に設定すると、1600KHｚ幅で



図 4.20　サンプリングレート設定ボタン

記録することができる。木星電波観測時には、広範囲の周波数の電波を記録する必要性から、サンプリングレート 2000KS/s を選択して保存する。すると 1 つのファイルは 5 分間で、2.3GB の大きさとなる。1 度記録を開始すると、自動的に 5 分ごとのファイルが生成される。記録するときは、保存領域の容量に注意が必要であり、容量が少ない場合は、別な領域を設定して保存する。また、記録したデータを管理するために、記録した日時、設定周波数、どの領域に保存したかをしっかりとメモを残すべきである。　上の画像の、左下のボタ



図 4.21　データの記録・再生に使うボタン

ンが、左から順に停止、記録、再生ボタンである。右側の処理中表示バーが記録もしくは再生の時間をあらわしている。　記録したデータの再生は、INPUT　SELECT で Wav を



図 4.22　INPUT SELECT ボタン

選択し、保存したデータファイルを開くことで可能である。再生中には処理中表示バーをクリックすることで早送りや巻き戻しを行うことができる。

（※文責: 見澤友哉）

アンテナ

木星からの電波は微弱な為、アンテナの備え付けは重要である。そこで、ここではアンテナについて今回私たちが使用したアンテナを含め、主にどのようなアンテナがあるのか、そのアンテナの歴史も交えて説明する。

7. 主なアンテナ

アンテナは、その形状でさまざまな種類に分類する事が出来る。代表的なアンテナを紹介すると、今回のプロジェクトでも使用したダイポールアンテナや、八木アンテナのような線状アンテナ、パラボラアンテナのような立体アンテナなどがある。それぞれの形状によって、使用できる場所、最適な使用方法、受信できる電波の種類が異なってくる。その為、受信したい電波に沿ったアンテナを使用する事が望まれる。

8. ダイポールアンテナについて

ダイポールアンテナとは、二本のポールを立て、その間に金属製のワイヤーを張る事でアンテナとしたものである。線状アンテナの基本的となるアンテナであり、最も構造が簡単なアンテナである。ワイヤーの長さが受信する電波の半波長の長さになっている。電波の半波長の長さを持つアンテナは最も効率よく電波を受信できると考えられている。導線に垂直な方向で電磁波の放射が最大になり、並行な方向では放射がゼロになる為、このアンテナで電波を観測する際には、指向性に深く注意する必要がある。

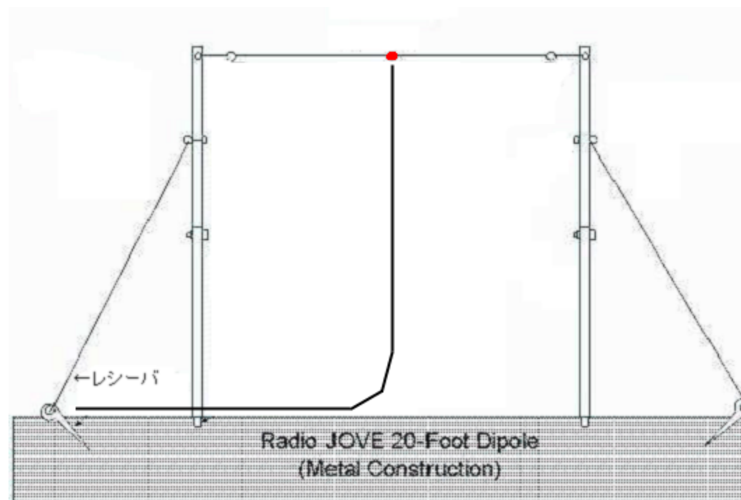


図 4.23　ダイポールアンテナの簡略図

9. 八木アンテナについて

八木アンテナ（正確には八木・宇田アンテナと呼ばれている）とは、八木秀次、宇田新太郎によって開発されたアンテナの一種で、素子の数により調節できる指向性アンテナである。汎用性が高く、抜群の精度を誇る為、さまざまな分野で使用されている。主にテレビ放送、FM 放送の受信用や、変わった所では、磁性体の移動式地対空ミサイル施設のレーダーのパラボラアンテナの輻射器に八木・宇田アンテナが用いられているものもある。

10. パラボラアンテナについて
パラボラアンテナとは、放物曲面をした反射器を持つ、凹型のアンテナである。主に極超短波（UHF）より短い波長の電波（主にセンチメートル波）で利用され、多重無線通信や衛星通信、衛星放送、電波天文に用いられる。特徴として、指向性が鋭く、側面や後方への漏洩も少ないなどという点が挙げられる。

11. アンテナ配置について
本プロジェクトでは、半波長ダイポールアンテナを二つ用意し、これらをパワーコンバイナでつなげることで二つの半波長ダイポールアンテナのアレイアンテナとした。今回はそれを二セット用意して、合計四つの半波長ダイポールアンテナを用い、電波観測を行った。配置は木星からの電波に対してワイヤーが垂直になるようにする。その為、観測する時間帯の木星の方角を、NASA が提供している、Radio-Jupiter Pro Jove Edition というソフトウェアで調べておく必要がある。

12. 観測の工程
    1. Radio-Jupiter Pro Edition」という NASA が提供するソフトウェアを使用し、木星からの電波が来る日時を調べ、スケジュールを決める（授業には重ならないような時間帯とし、深夜や早朝もなるべくなら避ける)。スケジュールを決める際には、日時の他に、電波の受信可能な確率、地平線を 0 度としたときの木星の角度、木星の昇る方角を考慮する必要がある。

    2. 木星電波を受信する為に、アンテナの長さを調節する必要がある。今回は木星電波を受信したいので、木星電波の周波数について調査し、その周波数を f=22.5[MHz] とした。このときの波長 λ は次式で与えられる。

    $$\lambda = \frac{c}{f}$$

    ここで、$c = 3 \times 10^8$ [m/s] は真空中の光の速度を表す。したがって、f=22.5[MHz] に対応する波長は

    $$\lambda = \frac{3 \times 10^8 [\mathrm{m/s}]}{22.5 \times 10^6 [\mathrm{Hz}]} \simeq 13.3[\mathrm{m}]$$

    で与えられる。アンテナの長さはこの波長 λ の半分、すなわち約 6.7[m] とした。
    3. 観測日までに、アンテナやその他の同軸ケーブル、パワーコンバイナ、レシーバなどの機器の点検を行う。点検についてはテスター（電気計測器）を使用する。壊れていた場合は修理する。修理・点検の方法については、別の項目を参照。また、ポールは土に開けた穴に立てる為、ポールの中に土が入ってしまう。その為、今年度は、ポールの端をビニールテープで塞ぐ事により、土の侵入を防ぐと共に、ポールを片付ける際に土を取り除く作業を行わずに済むよう改善した。これにより、設置時間の大幅な短縮に成功した。

4. アンテナを立てる作業には慣れても 1 時間以上かかるので、最初の観測時には電波の来る時間の 2〜3 時間ほど前には集合する。また、アンテナの迅速な設置を行う為に、実際に電波観測を行う予定日よりも前にアンテナを立てる練習日を定めた。

5. アンテナの設置場所には未来大学から発せられるノイズの影響を受けないようにする為、なるべく離れた所にする。あらかじめ調べておいた木星の位置に対して、垂直になるようにアンテナを張る必要がある為、穴は方位磁針とドリルを使用し、図のように開ける。穴の深さはポールが倒れないよう、20cm 程度とした。この作業は観測日よりも前に行っても良い。

6. 必要な機材と机や椅子、ポールを観測場所に運ぶ。

7. ポールは二種類あり、それぞれをジョイントで連結させて一本のポールとする。ジョイントをドライバーでしっかりと締め付けたら、ポールの先端部分にアンテナとなるワイヤーを取り付ける。アンテナの向きによって指向性が変わるので、アンテナを取り付ける際には向きに注意する（アンテナの指向性については別の項目を参照）。

8. 二本のポールで一つのアンテナとなるので、数人で協力して二本のポールを同時に起こし、開けておいた穴に挿し込む。ポールにはペグが繋がった二本の紐があるので、紐を張り、アンテナの角度を調節しながら、金槌などを用いてペグを地面に固定する。ポールは不安定なので、完全に固定するまでは誰かがポールを支えておく必要がある。

9. 全てのアンテナを立てたら、パワーコンバイナを使用しそれぞれのケーブルを繋げる。レシーバに繋げても反応がない場合は配線をもう一度確認する（詳細は別項目参照）。ケーブルとケーブルの繋ぎ目は外れやすい為、観測中に外れてしまわないよう、ケーブルに余裕を持たせておく。

13. アンテナの指向性について

アレイアンテナにする理由は二つある。一つは、電波の振幅を増幅させる事である。初めに受信した電波は微弱なので、二つの電波を重ね合わせる事で振幅を大きくする必要がある。もう一つの理由は、アンテナに指向性を持たせる事である。一つのアンテナでは指向性はほぼ無い。つまり、電波の受信できる方向の範囲が広いので、特定の電波を効率よく受信する事が出来ない。そこで二つの半波長ダイポールアンテナを並行に二つ、計四つのアンテナを並べてアレイアンテナにする事で、アンテナに真上方向の指向性を持たせる事が出来る。これで木星からの電波が、観測する地点の真上から来ている場合、とても効率よく電波を受信する事が出来るおうになる。しかしこれでは木星からの電波が斜め方向から観測地点に来ている場合に電波のズレが生じる。そこで斜め方向に指向性を傾ける事で、電波のズレを直す必要がある。ここで指向性を傾ける為に必要になるのが、フェージングケーブルである。フェージングケーブルは、2 本の半波長ダイポールアンテナを繋げたアレイアンテナのうち、先に電波を受信する方のアンテナに接続する。それによって指向性がフェージングケーブルを接続した方のアンテナの方向に傾くので、波長のズレを修正する事ができる。
上記はフェージングケーブルを使った指向性の変更方法で、フェージングケーブルの他にも

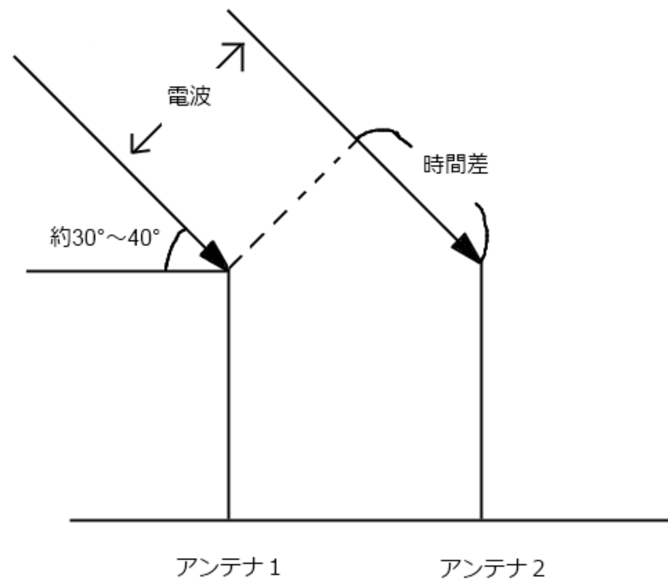


図 4.24　アンテナに来る電波のズレ

指向性を変える方法がある。アンテナのワイヤーは同軸ケーブルの内部導体と外部導体を左右に分離させて出来ている。これによってワイヤーにも向きが生じる。4 本のアンテナのワイヤーが全て同じ向きの状態をインフェイズと呼び、この状態での指向性は真上に向いている。4 本のアンテナのうち、木星の方角側に立っているアンテナの 2 本のワイヤーの向きが同じで、残り 2 つのワイヤーが木星の方角側のワイヤーとは逆向きの状態をアンチフェイズと呼び、この状態での指向性は斜めになる。つまり、木星からの電波が斜めから来ている場合、アンチフェイズで設置すれば、フェージングケーブルを繋げる必要はない。もしくは、インフェイズで設置して、フェージングケーブルを接続すれば良い。本年度のアンテナ配置についての図ではインフェイズで設置している為、フェージングケーブルを接続している。

14. アンテナの点検

アンテナの具体的な点検内容には、フェージングケーブルやその他の同軸ケーブル、ワイヤーが断線していないかの確認、フェージングケーブルやその他の同軸ケーブルの先端部分がしっかりと繋がれているかの確認、そして、パワーコンバイナが機能しているかの確認が必要である。フェージングケーブルやその他の同軸ケーブル、ワイヤーの断線とパワーコンバイナの機能を確かめる為には、テスター（電気計測器）を使う。テスターで点検するときは、ケーブルの全てが断線していないかを確認する為、ケーブルの両端で調べる必要がある。フェージングケーブルやその他の同軸ケーブルには内部導体と外部導体がある。それぞれの間には絶縁体があり、互いに干渉しないようになっている。よって、点検では以下の項目を全て調べる。

1. 端 1 の内部導体と端 2 の内部導体が繋がっていること
2. 端 1 の外部導体と端 2 の外部導体が繋がっていること
3. 端 1 の内部導体と端 2 の外部導体が繋がっていること
4. 端 1 の外部導体と端 2 の内部導体が繋がっていること

※1 本のケーブルの両端をそれぞれ端 1、端 2 とする

パワーコンバイナは、それぞれの端子が繋がっているかを調べる。

また、実際にアンテナを立てた際、それぞれのアンテナが実際に電波を受信しているかを確かめる必要がある。その為、それぞれ 4 つのアンテナを 1 つずつ外し、ラジオの電波を利用して、電波受信の確認を行う。1. まず、図の中で左上に位置するアンテナの受信を確認す

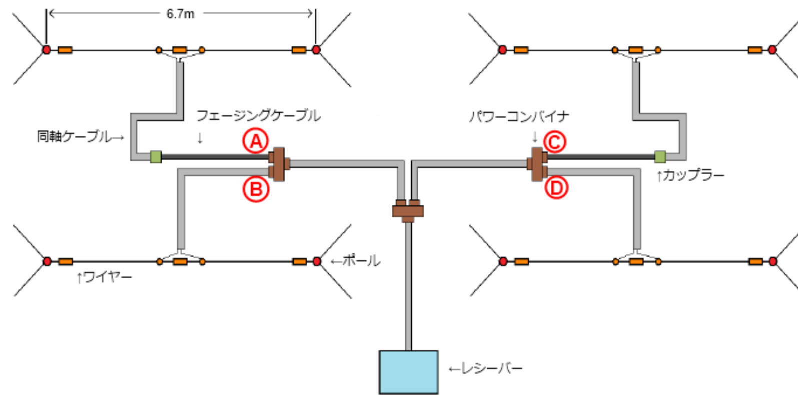


図 4.25　アンテナの全体図

る為、パワーコンバイナの A 以外、B、C、D に繋がれたケーブルを外し、ラジオ電波が受信できるかどうか確認する。

2. 次に、左下のアンテナを確認する為、B 以外のパワーコンバイナに繋がれたケーブルを外し、ラジオ電波が受信できるかどうか確認する。

3. 右上のアンテナを確認する為、C 以外のケーブルを外し、ラジオ電波が受信できるかどうか確認する。

4. 最後、右下のアンテナを確認する為、D 以外のケーブルを外し、ラジオ電波が受信できるかどうか確認する。

それぞれの工程でラジオ電波が受信出来なかった場合、ケーブルの接続、断線、アンテナの向きを確認する必要がある。

15. アンテナの修理

アンテナの点検をした際にケーブルが断線していた場合は、断線箇所がはっきりと分からない為、新しいケーブルを用意し、両端に端子を取り付ける。新しいケーブルは断線していたケーブルと同じ長さになるよに合わせる。端子はテープで取り付けなければならない物と、金属の輪をペンチで絞め付けて取り付ける物がある。どれも外れないようにしっかりと取り付ける。テープで取り付けた端子は非常に外れやすいので、完全に外れてしまったり、外れやすくなっていたら、テープを巻き直す。ポールの先端に取り付けるワイヤーはアンテナを立てる際に負荷がかかり、ちぎれてしまう事がある。その場合ははんだ付けをする。

16. 観測システムのチェック方法

今年度のプロジェクト学習では、木星電波観測システム全体のチェック方法についてまとめた。チェック方法をまとめることで、観測システムの点検の効率化を図り、電波観測時のトラブルを減らす狙いがある。以下に木星電波観測全体のチェック方法をまとめたものを記

述する。

(観測日)
1. 木星電波観測日は正しいかもう一度確認を行う
2. 観測日時の天気を調べる
 少雨時は PC やレシーバーににビニールをかける
3. 観測日時の木星の動きを調べる
 アンテナの向きを確認する
(アンテナ・ケーブル)
1. ポールを立てる穴を 8 箇所あける
 観測日時の木星の方角、アンテナの長さにあわせて穴を開ける
2. アンテナやケーブルに断線している部分がないか
 目視で確認する、テスターで調べる
3. アンテナが電波を受信しているか
 各アンテナをレシーバーにつなぎラジオなどの強い電波を受信できるか調べる
4. アンテナやケーブルのコネクト部分の不調がないか
 目視で確認する、ほかのケーブルやアンテナに接続してゆるみがないか調べる
5. 電波観測日前にアンテナを組み立てる
 何か不調な観測機器があればメモをとり修理を行う
(レシーバ・PC)
1. レシーバーは正しく動作しているか
 レシーバーに簡易アンテナを取り付けて波形を確認する
2. 周波数の設定は正しいか
 周波数は 22.5MHz に設定する
3. PC の保存容量は十分空いているか
 データの消去や移動を行い容量をあけておく
4. 観測データの保存ができるか
 実際にデータを保存して 5 分後とにファイルが作られているか確認する
5. レシーバーの設定が正しいか
 ATT などの不必要な設定になっていないか確かめる

17. アンテナの受信状況を調べる

電波観測時には 2 対 1 セットのダイポールアンテナを 2 つ使用していることから、4 つのアンテナが電波を受信しているか調べる必要がある。そのため、ラジオの電波を受信することによって、アンテナの受信状況を調べた。レシーバに接続するアンテナを 1 つにして、ラジオの受信状況を確認してアンテナやケーブルの故障の有無を調べる。ラジオを受信できない場合は、すぐにアンテナやケーブルの点検を行い、故障箇所を探す。

（※文責: 野久拓真）

4.3 データ解析

1. 解析プログラムの役目

最初に解析プログラムの役割について説明する。木星電波を受信出来たかを確認するには最初に木星特有の電波である S-バーストの有無を確認する必要がある。S バーストとは短時間で周波数が急激に変化するものである。しかし、レシーバーから受信し PC に保存したデータは時系列データであり、そこからは、周波数がわからない。そこで、時間変化における周波数の変化を知るために解析プログラムを用いる。解析プログラムは IDL(Interactive Data Language) を用いて昨年使用したものを使用した。IDL は大量にデータを解析するときに使われるプログラミング言語のことである。下記の図が実際に解析プログラムの役目ある。レシーバーから PC に保存されたデータは解析プログラムを通して時系列データからスペクトログラム図へ変換される。解析プログラムの中では FFT(高速フーリエ変換) が行われ、スペクトルグラムを生成する。

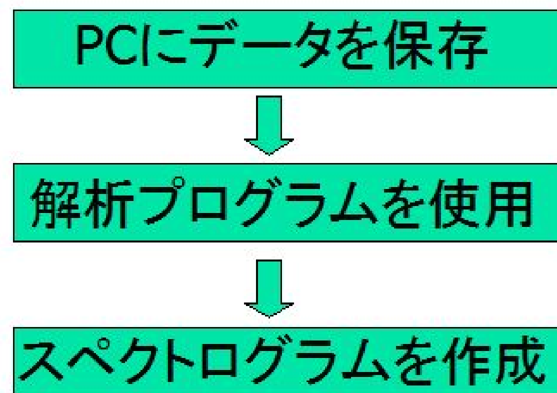


図 4.26　解析プログラムの役目

2. 受信データの確認

まず最初に、S バースト有無を確認するため、受信データの時間変化に対する周波数の変化を確認する。そこで、IDL を用いて作成した解析プログラムを用いて時系列データから周波数スペクトログラムを作成する。下の図を見てわかるように、10 月 28 日の時系列データにおいて、横軸は時間、縦軸は信号の強さ。10 月 28 のスペクトログラムにおいは横軸が時間、縦軸が周波数である。縦軸の周波数は、観測時のレシバーの設定周波数の 22.5MHz を中心として上下に 1MHz ずつの範囲であるので 21.5MHz から 23.5MHz までの 2MHz の区間であることがわかる。実際の観測時には 5 分間毎にファイルへ時系列データが記録される。また、スペクトログラムは 1 秒毎に作成されるため、1 つのファイルに対して周波数スペクトログラムを作成すると 300 枚の周波数スペクトログラムが作成されることになる。そして、そのスペクトログラムを一つずつ目で見て S バーストの有無を検証していく。下記に載せる図は 10 月 28 日に実際に観測した、時系列データと、そこから作成したスペクトログラムである。スペクトログラムをよく見てみると、白い線が斜めにいくつかあることがわかる。

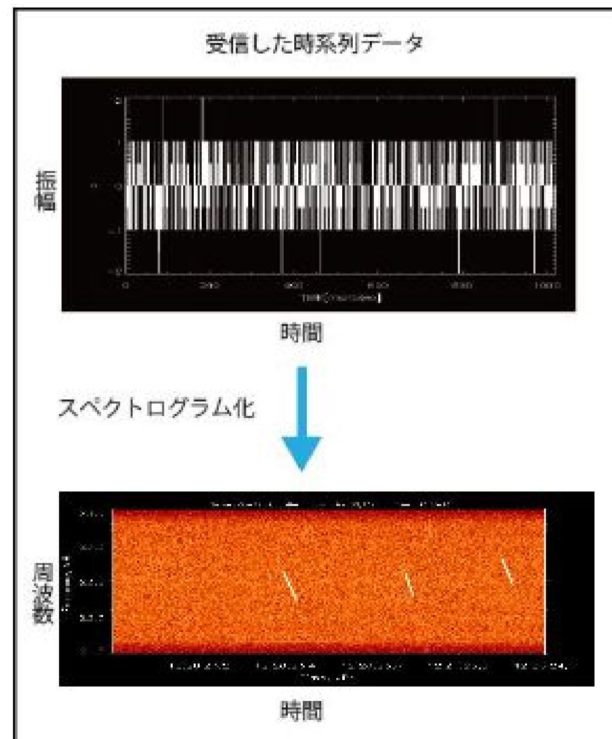


図 4.27　スペクトログラム化

3. ドリフト率による検証
まず、最初にドリフト率について説明する。ドリフト率とは [信号の周波数が 1 秒あたりにどれだけ変化するか] ということを示した値であり、次式で求めることができる。

$$\text{Drift rate} = \frac{\Delta f}{\Delta t}$$

次に、実際に下記の図を用いてどのように計算していくのかについて説明する。 図 4.28 は実際に 10 月 28 日のスペクトログラムを拡大したものである。ドリフト率は図中のは白い線の傾き、すなわち $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ を用いて求めることができる。

4. ドリフト率の計算手順
1　最初に S バーストが入っている、スペクトログラムを印刷する。
2　S-バーストの傾きの始点から垂直に下ろした黄色の線と S-バーストの傾きの終点を通る時間軸に平行な黄色の線を引き、三角形をつくる。黄色の縦線を Δt とし黄色の横線を Δf とする。
3　Δt と Δf の長さを実際に求める。
4　求めた Δt と Δf をドリフト率の計算式に代入する。

5. 解析結果
図 4.30 は、過去の研究者たちが木製からの電波信号であると証明してきたデータをまとめた図である。表の黒色の点と線は、過去の研究データの結果とその誤差範囲を示している。表の中にある 3 本の点線は木星の地場曲線を示している。この点線の間に今回の観測データのドリフト率の結果が位置するならば、木星の電波を受信したと強く主張できる。さらに、

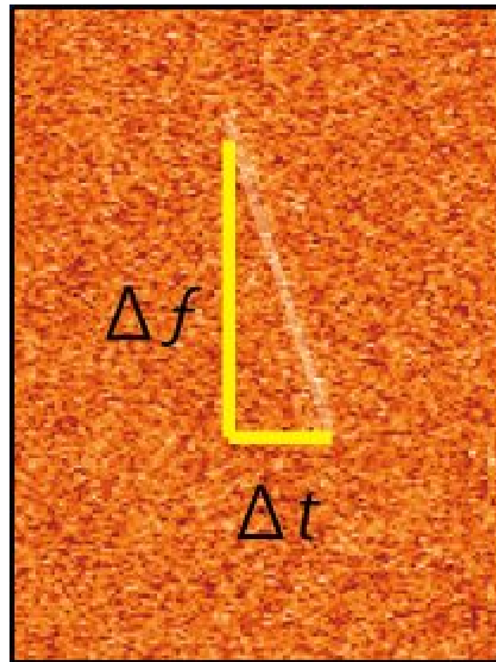


図 4.28　ドリフト率の計算

⊿t	⊿f	drift rate[MHz/sec]
0.05	−0.5	−10
0.04375	−0.625	−14.28571429
0.03125	−0.35	−11.2
0.025	−0.375	−15
0.01875	−0.25	−13.33333333
0.01875	−0.325	−17.33333333
0.05	−0.4	−8
0.0125	−0.25	−20
0.03125	−0.3	−9.6
0.0125	−0.2	−16
0.0125	−0.3	−24
0.025	−0.225	−9

図 4.29　10 月 28 日のドリフト率

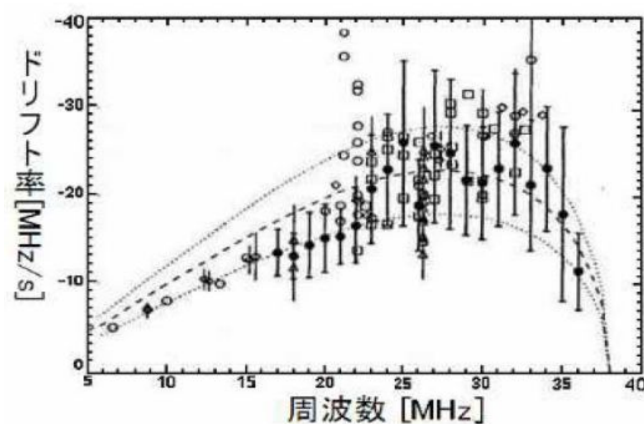


図 4.30　木星のドリフト率の過去の資料 [4]

その結果が過去の研究結果の点あるいは誤差範囲に近似しているとより木星電波を受信できたと強く主張することが出来る。

図 4.31 は、以前に示した図と 10 月 18 日に観測して得られた受信データのドリフト率を

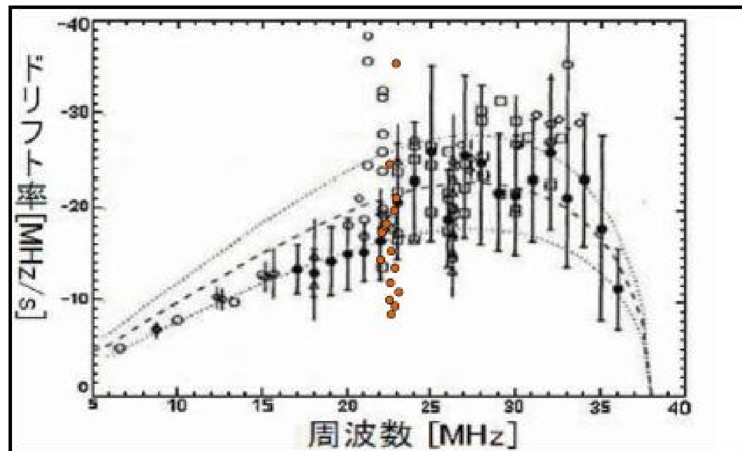


図 4.31 過去の資料 [4] と今年度観測データ（赤い点）の照合

重ね合わせたものである。赤い点は 10 月 18 日に観測したドリフト率の結果を示しており、過去の研究結果の点にも近似しているため、今回の観測では S バーストを受信できたと強く主張できる。

6. 解析プログラムの説明

解析プログラムの 1 行目

```
openr,4,'e:\Jupiter_2011\riabov_28_10_2011\Jupiter_001.wav
```

“openr”はデータを取り込むために指定したファイルを開くコマンドである。

```
loadct,3
```

“lodct”は時系列データから変換したスペクトルグラムにする時に、画像データの背景の色を事前に定義されているカラーテーブルから読み込むコマンドである。これは S バーストの存在を見やすくするために設定した。今回私たちが画像データの背景に使用したのは、3 番の’red temperature’という色である。

```
wind=2048L
```

“wind”は変数であり、ここでは画面のサイズのことである。そして、その変数の値を、2048 と定義した。

```
a=intarr(2,wind)
```

“a”は変数であり、ここでは、整数型の 2 次元配列で 1 つ目の要素数が”2”で 2 つ目の要素が”wind”なので”2048 だということになり、そのことを定義した。”

```
array=fltarr(1024,512)
```

“array”は変数であり、浮動小数型の 2 次元配列で、1 つ目の要素数が”1024”、2 つ目の要素数が”512”と定義された。この二つの配列は受信データを格納するのに使用する。

```
point_lun,4,86+i*2*wind+wind*2*1024*k
```

“point_lun”は、指定されたファイルのために現在のポインタの位置を設定するコマンドである。受信データから変換した画像データの中で、S-burst が見られた部分までポインタの位置を

動かし、その位置からデータを読み込むことで画像データの S-burst の部分だけを拡大することができる。

“86LL”は、受信データの先頭部分である。

“i*2wind”は、50% のオーバーラップを導入して点をとることを示している。オーバーラップとは、前に読み込むデータの後半部分と次に読み込むデータの前半部分を重なり合わせてデータを読み込む方法である。

“wind*2*1024*k”は画像データ 1 枚分の点を表す。

```
readu,4,a
```
“readu”は指定したファイルからデータを読み込むコマンドである。

```
x=reform(a(0,*))
y=reform(a(1,*))
```
“reform”関数は、要素数の総数を変えないで、配列の次元を変えるコマンドである。

```
z=complex(x,y)
c=fft(z,-1)
```
複素配列”z”の一つ目の要素に”x”を 2 つ目の要素に”y”を格納する。
fft 関数は、離散フーリエ変換と等しい結果を示す。fft 関数で”z”を fft にかけた値を”c”に格納した。

```
c1=[c(wind/2:wind-1),c(0:wind/2-1)]
```
配列”c”に計算されて格納された値は、負の値と正の値の順番が逆になっているため、このテキストを使用して、入れ換える。

```
array(i,*)=rebin(abs(c1),512)
```
abs 関数は、絶対値を計算して値を返す。配列”c1”の負の値を絶対値を計算し、すべてを正の値に統一する。for 文で配列の 1 つ目の要素は”0”から”1023”までの 1024 個となり、2 つ目の要素が”*”であるので、”0”から”511”の 512 個の要素数となる。

```
window,1,xsize=1024+300,ysize=600+100,ypos=0
```
このコマンドは、パソコンのディスプレイに画像やテキストを表示する画面を作成するコマンドである。
また画面のサイズもここで設定することができる。

```
time0=[12,20,23,0,0]
time1=[12,20,24,0,0]
```
“time0”は一枚のスペクトログラムの始めの時間で” time1”は一枚のスペクトログラムの終わり時間である。

```
ymin=19.5
ymax=21.5
```
これは周波数の上限と下限のことである。

```
th=0.2
yh=0.5
```
“th”は時間軸の 1 目盛の刻み具合、”yh”は周波数軸の 1 目盛の刻み具合を示している。

```
SPDYNX, alog(array+0.001), time0, time1, th, ymin,ymax,yh, 0,0
```

```
cd,'c:\Users\owner\Desktop\jupiter-riabov\Jupiter1
```
“cd”というコマンドを利用して保存先を指定する。

```
write_bmp,string(k)+'.bmp',tvrd()
```
write_bmp は、bmp ファイル形式で書き込むということを示している。

（※文責: 野口一樹）

4.4 光学望遠鏡による天体の撮影

1. 概要

今年度から光学望遠鏡を用いての宇宙探索に取り組んだ。光学望遠鏡で天体を撮影することで光学望遠鏡で木星とイオの位置関係を調べ、電波望遠鏡を用いて観測した電波が実際に木星から発生しているかどうかの裏付けを行い、更に天体を撮影することで宇宙に対する関心を高めることを目的とした。今回使用した光学望遠鏡は、MEADE 社製の ETX-90 Premire Edition[5] である。この望遠鏡の特徴としては、オートスターと呼ばれる天体自動追尾機能が搭載されていることである。これにより、簡易な初期設定、日時と時間、観測地点を入力すると、今見えている星空の中から天体の位置を計算し、望遠鏡に内蔵された駆動モーターで目標の天体を自動的に視野に導いてくれる。撮影は、付属の CCD カメラを使って行う。CCD カメラとパソコンは常に接続して使う。パソコン上の撮影ソフトウェアで CCD カメラを制御し写真画像を取り込む。



図 4.32　ETX-90 とオートスター

2. 光学望遠鏡とは

望遠鏡とは、遠方の物体を拡大して見る光学装置。凸レンズの対物レンズまたは、凹面鏡の対物鏡で得た像を接眼レンズで拡大して見るもの。天体望遠鏡とは、天体を観察するための装置である。天体望遠鏡には、光学望遠鏡のほかに電波望遠鏡、X 線望遠鏡、赤外線望遠鏡など様々な種類がある。電波望遠鏡は本プロジェクトの木星の電波観測に使用したものであ

る。電波望遠鏡は、天体からくる電波を収束させて天体を観測する装置である。また、X 線望遠鏡は天体から来る X 線、赤外線望遠鏡は天体から来る赤外線を集めて観測する装置である。このように 光学望遠鏡以外は、天体からくる電波、赤外線、X線を集めるだけなので、像を目で見ることはできない。 そのため、可視光線を集光してで肉眼に見えるようにするものが光学望遠鏡と呼ばれる。

3. 光学望遠鏡の種類

光学望遠鏡は、大まかに分けて屈折望遠鏡と反射望遠鏡の 2 種類がある。屈折望遠鏡はレンズを組み合わせた望遠鏡である。レンズによって分散が起こるため色収差を生じる。ほとんどの場合、色収差を抑えるために分散が異なる硝材で作られた複数のレンズを組み合わせて使用する。通常は可視光のうち C 線（赤、656.27nm）と F 線（青、486.13nm）の 2 つの波長に対して球面収差とコマ収差を取り除いたものをアクロマート、これらに g 線（紫、435.83nm）も加えた 3 つの波長に対して球面収差とコマ収差を取り除いたものをアポクロマートと呼ぶ。

ルーペには「一点を拡大する」「光を焦点に集める」という二つの機能がある。例えば、ルーペを利用すれば、細かい字を大きく拡大して読むことができる。一方で、同じルーペを使って太陽光を一点に集中させれば、紙などを燃やすことができる。レンズによって光が集まる一点を焦点という。手でルーペのレンズに触れると、その中央が外側に膨らんでいることが分かる。このように周辺部より中央部が厚いレンズを凸レンズという。

「一点を拡大する」「光を焦点に集める」という機能は凸レンズの特徴である。この凸レンズの機能を利用した望遠鏡が屈折望遠鏡である。屈折望遠鏡は二つの凸レンズによって遠方の像を拡大する。目標に向けるレンズを対物レンズ、目でのぞく側のレンズを接眼レンズという。どちらも凸レンズであるが、役割は異なる。対物レンズの役割は「光を焦点に集める」ことである。天体は遠方にあるため、その光は非常に弱い。より詳しくみるためには、できるだけ多くの光を集める必要がある。

光を集めて焦点に集中させるのが、対物レンズの役割である。対物レンズが作った焦点を拡大することが、接眼レンズの役割だ。ルーペが細かい字を拡大するように、接眼レンズは焦点を拡大する。接眼レンズは、対物レンズが作った焦点を拡大するルーペなのである。対物レンズで光を集め焦点を作り、その焦点を接眼レンズで拡大する。これが屈折式望遠鏡の基本原理である。

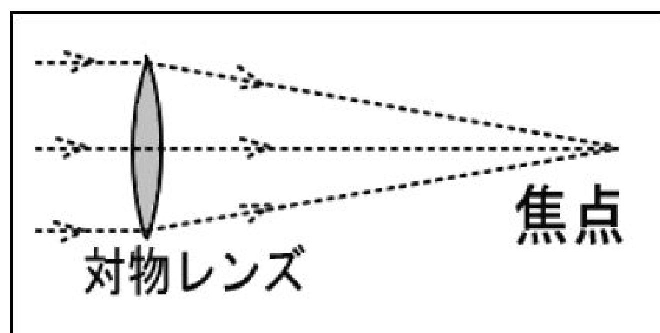


図 4.33　屈折望遠鏡 [3]

反射望遠鏡は凹面鏡などの反射鏡を組み合わせて遠方の像を拡大する望遠鏡である。レン

ズを用いないため色収差を生じず、また大口径の望遠鏡を作ることが可能という利点がある。そのため、巨大望遠鏡と呼ばれる望遠鏡は、すべて反射望遠鏡である。屈折式望遠鏡は、対物レンズを使用して焦点をつくる。反射式望遠鏡は、対物レンズではなく、凹面鏡を使用して焦点を得る。この凹面鏡を主鏡、または対物鏡という。反射式望遠鏡は、主鏡が作った焦点の像を、接眼レンズで拡大する。接眼レンズは焦点を拡大する虫メガネとしての役割を持っている。反射望遠鏡の種類は、主鏡・副鏡の形と配置で決まる。代表的なものとして、ニュートン式反射望遠鏡とカセグレン式望遠鏡がある。以下で、代表的な 2 種類の反射望遠鏡について紹介する。

反射望遠鏡の中でも最もポピュラーなものが、ニュートンによって発明されたニュートン式反射望遠鏡である。これは大口径の凹面鏡（主鏡）で反射させた光束を、光軸上前方においた斜め 45 度の平面鏡（斜鏡）で鏡筒から直角方向に取り出すという構造をとっている。

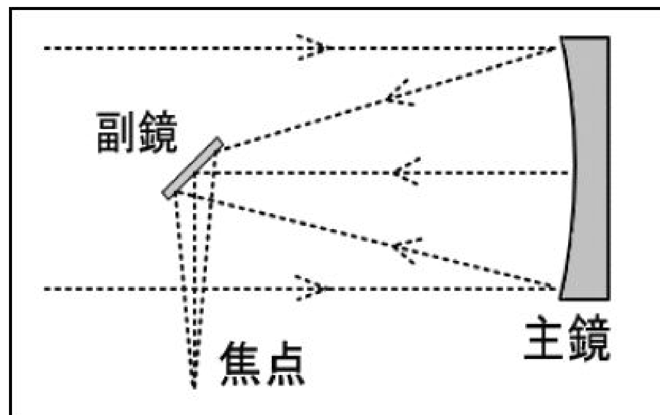


図 4.34　ニュートン式 [3]

カセグレン式反射望遠鏡は、大口径・中口径の反射望遠鏡として広く用いられている。カセグレン式は大径の凹面鏡（主鏡）で反射させた光束を、光軸上前方においた双曲面の凸面鏡（副鏡）で再度反射し、凹面鏡の中心部に開けられた穴を通して焦点を結ぶ、という構造である。そのため、カセグレン式には鏡筒が短いという利点がある。

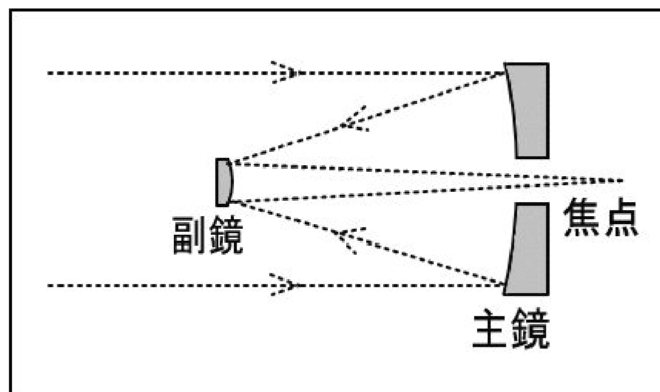


図 4.35　カセグレン式 [3]

また、反射望遠鏡をベースとして、そこに補正レンズを組み込んで収差を補正した天体望遠鏡をカタディオプトリック式と呼ぶ。catadioptric は catoptric（「反射光学の」）と dioptric（「屈折光学の」）の合成語である。ベースとなる光学系と補正レンズの組み合わせに

よって様々な方式のものが考案されている。 今回使用する、MEADE　ETX-90 Premire Edition に使われているマスストフカセグレン式もここに分類される。

マクストフ・カセグレン式望遠鏡はシュミット・カセグレン式のシュミット式補正レンズの代わりにメニスカスレンズを補正レンズとしたものである。主鏡・副鏡共に球面で製作することが出来るため、コストが安くなり、かつ精度を高く作ることが出来る。副鏡はメニスカスレンズの中央部をメッキして代用することが多い。最近ではさらに設計の自由度を増やし、よりよく収差を補正するために、副鏡をメニスカスレンズから独立させたものもある。

4. 望遠鏡を載せる架台の違い

赤道儀式

地球の自転軸と平行な極軸と、それに直交した赤緯軸の 2 軸で構成された架台である。極軸を回転させる事により、天体追尾を行なう。動作は単純であり、自動追尾を行なう際は、1 軸のみをほぼ等速で回転させれば、かなりの観測精度を得られる。駆動機構を単純化できるため、古くから自動追尾を行なう場合に広く用いられてきた。赤径赤緯を指定する事により、目標天体を比較的簡単に導入できる。

観測を開始する前には、極軸を天の北極、または南極へ向けて固定する（極軸合わせ）必要がある。これが正確でないと、追尾が正確に行なわれなくなり、観測精度に影響する。補助として、軸の中心に小型の望遠鏡を備えたものもあり、この望遠鏡で北極星を捉え、極軸合わせを行なう。設計、製作において高精度が要求されることが多く、低コストでの生産は難しい。このため個人使用のものでは比較的高級な部類であり、鏡筒と三脚をセットにしたものの他、オプションや単体で販売される場合も多い。

経緯台式

鏡筒の水平回転（経線）を受け持つ軸と、それと直交した俯仰角を受け持つ軸（緯線）の 2 軸を持つ架台である。観光地などに設置されている有料の大型双眼鏡の架台としても使われており、また同様の構造を持つものに、測量に用いられるトランシットがある。

この形式の利点は、設計が容易な事があげられる。これは望遠鏡の向く方向によらず望遠鏡の重量負荷が常に同一方向にかかるため、一方向の負荷のみを考慮すればよいからである。また構造が単純で部品が軽量であり、個人での使用では高精度を要求される場合も少ないため、一般的に赤道儀と比較すると低コストでの製作が可能であり、大量生産に向いている。欠点としては、まず天体の日周運動を追尾するためには、2 軸を同時に不等速度で動かす必要がある点があげられる。手動での追尾は非常に困難であり、自動追尾の場合でも、制御および駆動システムが複雑となる。また最も観測条件の良い天頂が特異点（方位回転速度が無限大）となるために、天頂付近が死角となり観測をあきらめなければならない点もある。そして追尾により視野が回転するため、写真撮影を行なう場合には、カメラを回転させる必要がある事も欠点のひとつとしてあげられる。前述の低コストな面に加え、観測前に極軸を北極星に合わせる、といった初心者にとって煩雑な作業が必要で無い事などから、高い精度が要求される事の無い、眼視による観測、観望を主にした入門者向きの製品に使用されることが多い。近年建設される大型望遠鏡では、経緯台が採用されている事が多い。これは望遠鏡の重量負荷の面で有利な事、そして計算機や GPS などを応用した制御および補正技術の発達により、その制御が容易になった事が主な理由と考えられる。なおすばる望遠鏡

でも採用されている。

経緯台を応用したもので、1980 年代ごろからアマチュア天文家の間で普及したものに、ドブソニアン望遠鏡がある。経緯台をもつニュートン式反射望遠鏡の一種と言えるが、極めて軽量かつ単純な構造の架台のみで構成されており、安価に比較的大口径の望遠鏡を使用する事が出来る。日曜大工で自作を行なう事も可能であり、工作用キットも販売されている。ドブソニアン望遠鏡で簡易的に星の動きを追うために、ポンセットマウント、もしくはジョンソニアンのような可動式の台座を使用する場合がある。あくまでも簡易的なものであり、赤道儀ほどの精度は得られないものの、短時間の眼視による観望には十分な機能を持っている。

5. 今回使用する光学望遠鏡について

今回使用する光学望遠鏡 MEADE ETX-90 Premire Edition である。ETX シリーズは、米国の望遠鏡 2 大ブランドの 1 社「Meade」（ミード）の製品です。同社は，コンピュータ制御天体望遠鏡の先駆者である。一番の特徴は、コンピュータユニット（本体からケーブルでつながる手のひらサイズの「オートスター」）により、2 種類の駆動モーターを制御して全天の星を「自動導入」、そして「自動追尾」ができる点である。ETX の ET は，Everybody's Telescope の略で,「誰にでも簡単に使える望遠鏡」という意味を込めてつけられた。この意味の通り，ETX はセットアップ時に基準星となる星さえ微調整すれば，あとはコントローラからの操作によって，自動的にさまざまな天体をナビゲーションしてくれる。

6. 今回使用するカメラとソフトウェアの説明

今回使用するカメラとソフトウェアは光学望遠鏡付属の Deep Sky Imager Program です。

パッケージ内の商品一覧

1. Deep Sky Imager カメラ
2. 同焦点リング
3. USB ケーブル
4. 変換アダプタ
5. シリアルケーブル
6. オートスター用ケーブル
7. システム CD

7. 動作環境

CPU に Pentium II/400MHz 以上（Pentium 4/2GHz を推奨）、OS が Windows Me/2000/XP（Windows XP を推奨）、必要メモリは 128M バイト以上（512M バイト以上を推奨）、CD-ROM（DVD）ドライブ必須、USB 1.1 ポート必須（USB 2.0 ポートを推奨）、ハードディスク空き容量は 100M バイト以上（1G バイトを推奨）。

8. Deep Sky Imager Program の各機能

1. Gain（ゲイン）、Offset（オフセット）スライダー



図 4.36　パッケージ内の商品一覧

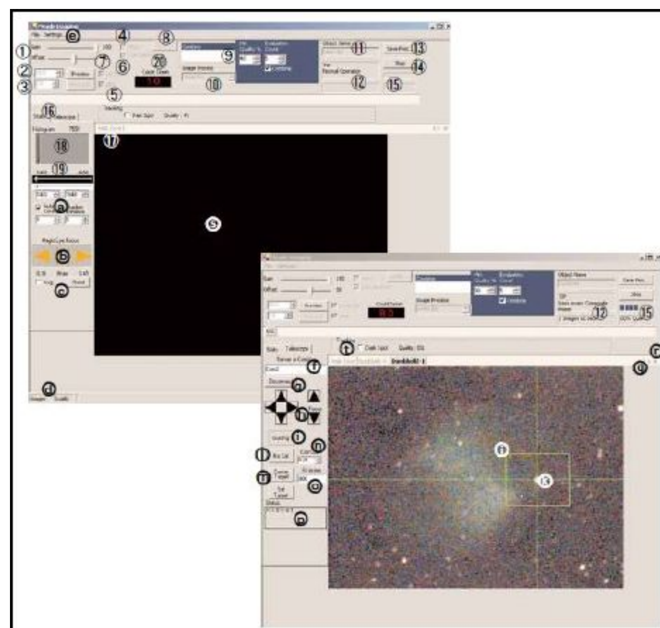


図 4.37　Deep Sky Imager Program の画面

2. Preview（プレビュー）と Exposure（露光）制御
3. Auto exp（自動露光）制御
4. Mono（モノクロ）チェックボックス
5. LIVE（ライブ）表示チェックボックス
6. Dark Subtract（ダークフレーム減算）チェックボックス
7. Long exp（長時間露光）チェックボックス
8. Color...（カラー）ボタン
9. Combine（合成）と Quality（画質）制御
11. Image Process（画像処理）プルダウンメニュー
12. Object Name（対象名）ボックス
13. ファイルフォーマット状態表示ボックス
14. Save Proc...（保存処理工程）ボックス

15. Start/Stop（開始/停止）ボタン
16. 画像取得状態表示バー
17. Stats, Telescope（状態、望遠鏡）タグ
18. Help, Live（ヘルプ、ライブ画像）タグ
19. Histogram（ヒストグラム）表示
20. ヒストグラムスライダーと制御
21. Count Down（カウントダウン）表示

（a）Auto Contrast（自動コントラスト)、Shadow Enhance（影強調）制御
（b）Magic Eye Focus（マジック・アイ・フォーカス）
（c）Avg（平均）チェックボックス、Reset（リセット）ボタン
（d）現在状況表示
（e）File（ファイル）と Settings（設定）メニュー
（f）Server or ComX（Com ポート）表示領域
（g）Connect/Disconnect（接続/切断）ボタン
（h）望遠鏡制御（上、下、左、右)、Focus（焦点）
（i）Autoguide（オートガイド）/Guiding（ガイド中)、または Track（追尾）/Tracking（追尾中）ボタン（表示内容は、望遠鏡がオードガイド、または追尾機能付きであるかによって異なります）
（j）追尾ボックス表示
（k）重心（重点）
（l）Will Cal（補正予定）/No Calibrate（無補正）ボタン
（m）Set Target（目標設定）及び Center Target（目標中心）設置ボタン
（n）Corr Gain（ゲイン補正）制御
（o）FL in mm（焦点距離、単位 mm）
（p）目標状態表示
（q）タブスクロール用矢印ボタン
（r）タブを「閉じる」ボタン
（s）追尾表示ボックス
（t）ダークスポットチェックボックス

カメラで撮像を始める前に

Deep Sky Imager カメラを PC に接続し、Deep Sky Imager Program を起動させた状態にします。まず最初に、以下の手順に従って Deep Sky Imager カメラで簡単な画像を撮ってみる。

番号は下記の図の通りである。

1.「Auto Exp」（自動露光）制御（3）のボタンをクリックする。

2. 「Image Process」（10）内のコンボボックス制御をクリックして、対象物タイプの一覧を表示する。一覧表をスクロールして「Terrestial」（地上風景）を選択する。

3. 「対象名」ボックス（11）内に対象物で任意の名前をアルファベットでキー入力する（英語版ソフトウェアのため日本語名は避ける)。この入力文字列は、画像ファイル名として使用される。

4. 次に「Save Proc…」ボタン（13）をクリックする。下のようなダイアログボックスが



図 4.38



図 4.39

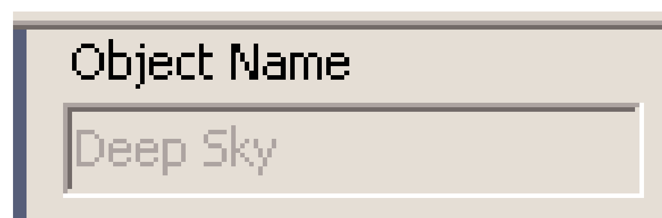


図 4.40

表示されるので「JPEG」と「Normal Operation」(通常操作) を選択する。
5. 「Live」タブ (17) をクリックする。
6. 撮像されている映像は、追尾表示ボックス画面 (s) に表示されているはずである。望遠鏡の合焦ノブを使って対象物がハッキリと見えるよう調節する。この際、Magic Eye Focus (b、マジック・アイ・フォーカス) 領域を注目すると、2 つの三角形印が表示されて大きさが変化することに気付くだろう。マジック・アイ・フォーカスは、焦点が合うよう支援する機能である。
7. 「Start」(14) をクリックすると、Deep Sky Imager カメラが撮像を開始する。そして「Stop」がクリックされるまで撮像を継続する。撮像中は、現在状況表示 (d) 部分に注意する。画像が 50 枚に達した場合、「Stop」ボタン (14) をクリックする。後述するが、50 枚以上の蓄積は比較的効力を持たない。

9. 撮影までの手順



図 4.41

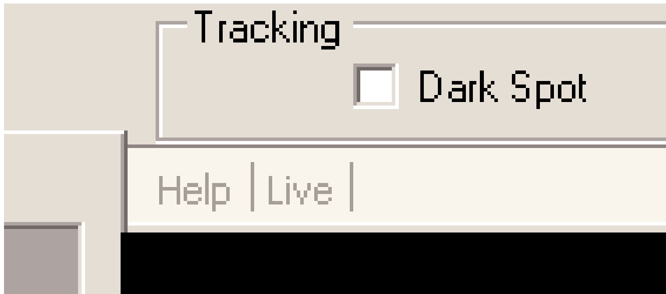


図 4.42

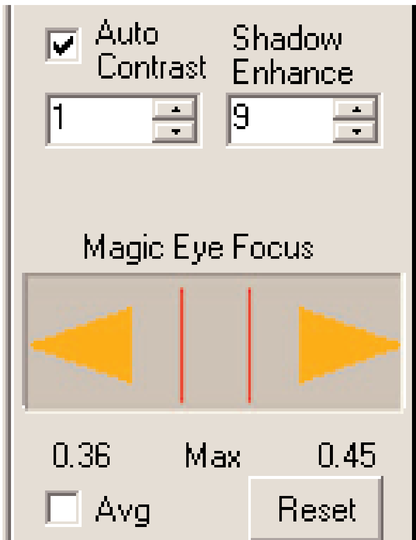


図 4.43

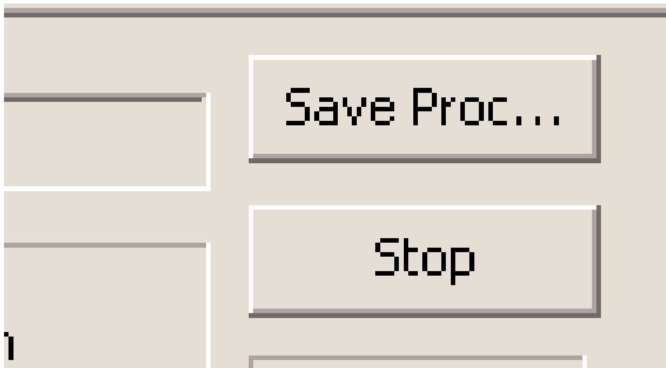


図 4.44

1. マニュアル読解

光学望遠鏡による取り組みは今年度からであるため、まずはじめに光学望遠鏡の操作方法を学ぶためマニュアルの読解を行った。マニュアルが英語であったため分担して翻訳の作業に取り組んだ。専門的な単語が多く、翻訳に苦労したため、指導教員に協力を仰ぎ作業を行った。

2. 撮影対象の決定

今回撮影する天体は、月と木星と決定した。理由として、月は肉眼でも容易に見ることができるため、最初に撮影する天体としては適切だと判断したためである。木星については今回、本プロジェクトで電波を観測しているため、解析の段階で目視で木星を捉えることで、木星とイオの位置関係を調べ、電波望遠鏡を用いて観測した電波が実際に木星から発生しているかどうかの裏付けを行うことができると考えたためである。

3. 撮影日時の決定

次に、撮影日時を決定を行った。上記のように撮影対象を月と木星に決定したため、この 2 つの天体について調べなくてはならない。各天体で撮影可能な時間帯が限られているためインターネットを用いて、撮影できる時間帯を調査した。月においてはいつでも観測ができるが、雲によって隠れると撮影ができなくなってしまうので、気象情報を調査し、撮影を行った。木星は太陽のまわりを約 12 年で 1 周している。地球はずっと内側を回っているので、我々から見ても木星は 12 年かけて星々の中を 1 周しているように見えまる。2010 年の木星は「みずがめ座」と「うお座」の境界付近にあった。しかし、2011 年～2012 年の木星は、秋の「うお座」と「おひつじ座」の境界付近にある。晩秋から冬にかけて見やすくなる位置である。木星が真南の空に上る時刻（南中時刻）を挟む約 6 時間のうちは、高度が 30 度を超えているので撮影に向いている。南中時刻は 2011 年 10 月 25 日午前 0 時ごろ、11 月 5 日午後 11 時ごろ、11 月 20 日午後 10 時ごろ、12 月 5 日午後 9 時ごろ、12 月 20 日午後 8 時ごろ、2012 年 1 月 5 日午後 7 時ごろとなるためそれに基づいて撮影を行った。また、1 年ごとに見ると木星は西から東へ移動しているため、短い期間で観察すると、東から西へ移動していることもある。これは「逆行」といって、我々がいる地球が外側を回る木星を追い抜くために見られる現象である。地球が木星を追い抜く瞬間の、太陽－地球－木星が一直線に並ぶ状態は「衝」とよばれ、地球からは一晩中木星を観察できる。逆行は衝の前後およそ 3 か月間続くが、このころが絶好の条件で観望することができる。。今年は 10 月 29 日に木星が衝を迎え、このころに地球からの距離がもっとも近くなる。そのため、その時期にも撮影を試みることにした。

10. 天体の撮影

実際の天体の撮影までの操作手順について説明する。

1. 本体の電源をオンにする。まず最初のポイントは、水準器で水平度を確認した上で、本体が北の方角へ鏡筒を向けておくことである。今回は経緯台式で観測を行った。
2. 続いて、付属のオートスターを操作して初期設定を行う。初期設定はしてオートスターの表示内容に沿って行う。観測地、日時などを入力する。
3. オートスターで「2 スターアライメント」を選ぶ。すると、2 つの恒星が順番に視野導入

される。1 つ目の基準星に ETX が動いたとき、この時点ではおおむねズレが生じる。ここでのポイントは、オートスターが内蔵しているデジタル星図の基準星の位置と、目視で確認する基準星の位置のズレをなくすよう操作する。この操作を 2 回（2 スター）行うことで、オートスターが想定する星図データと実際の天体の位置を一致させる。

4. 次に、観測したい天体を選択する。すると、駆動モーターで対象の天体の位置まで移動してくれる。

5. 望遠鏡のアイピースを付属の CCD カメラに取り替えてる。すると、ソフトウェア上に望遠鏡に映っている。

11. 光学望遠鏡による天体の撮影結果

今回、撮影対象と決定した月と木星の撮影に成功した。下記に写真掲載。光学望遠鏡の試みは今年度が始めての取り組みであったため、最初は何から取り掛かればよいか不安でいっぱいであった。しかし、指導教員やメンバーと話し合いの機会を設け方向性を決めていった。まず最初に取り掛かったのが、光学望遠鏡のマニュアルの読解だ。マニュアルは英語のため、各自で範囲を分担し翻訳の作業にあたった。専門的な知識が多く苦労したが、指導教員に指導してもらい、作業を遂行した。次に、光学望遠鏡を組み立て、マニュアルを基に撮影の作業に取り掛かった。メンバー全員が光学望遠鏡を触るのが初めてだったため、早くなれるために撮影の機械を多く設けた。プロジェクト時間以外も集まり、撮影方法の習得に励んだ。そして、今回、撮影対象と決定した月と木星の撮影に成功した。下記に写真掲載。

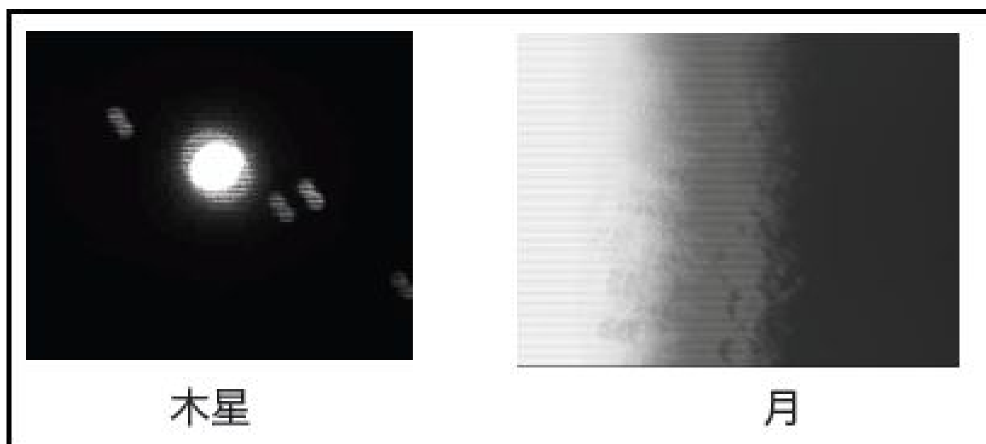


図 4.45　今年度撮影した木星と月の写真

（※文責: 堀越久登）

4.5 各人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ

1. 堀越久登
   リーダーとしてメンバーを指揮し、指導教員との連絡、事務との交渉、報告書の製作などプロジェクトが円滑に行われるようすることが課題。また、光学望遠鏡班として、マニュアルの読解、撮影方法の習得に取り組む。

   （※文責: 堀越久登）

2. 野口一樹
   IDL を用いたデータ解析の手法を学習し、データ解析を行うことである。具体的には受信した時系列データを解析プログラムを使用し、スペクトログラム化を行う。また、木星からの特有の電波を受信することが出来たと主張するため S-バーストの有無を確認する。その後、ドリフト率を求め、過去に木星からの電波であると証明されたデータとの比較を行う。

   （※文責: 野口一樹）

3. 見澤友哉
   私のプロジェクトにおける課題は、木星電波観測班として、アンテナの組み立てや、レシーバの使い方などの知識を習得し、電波観測時にそれを実際に行うことである。その他にも、木製電波観測日の予測を行い、プロジェクトメンバーや担当教員と観測予定の確認を行った。電波観測前には、アンテナやケーブルなどの点検や修理を行った。また、観測機器全体のチェック方法についてまとめた。

   （※文責: 見澤友哉）

4. 鍔山匠
   光学望遠鏡を用いての木星の撮影を行うことが、私のプロジェクト内の位置づけとなっており、実際の撮影を行うときのトラブルの対処や、木星が見える日にち、時間帯などを調べることである。

   （※文責: 鍔山匠）

5. 野久拓真
   私は、光学望遠鏡班として、天体望遠鏡を用いた天体観測を行う事が課題である。その為には、望遠鏡の組み立て方や CCD カメラの繋ぎ方、パソコンでのキャプチャーソフトの使い方を、それぞれの取扱説明書を熟読する事で学ぶ必要がある。また、電波望遠鏡での電波観測をする際には、ポールの組み立て、アンテナの接続などをプロジェクト員と共に行う。

   （※文責: 野久拓真）

4.6 担当課題解決過程の詳細

1. 堀越久登
   リーダーとして、報告書作成の際の指示、指導教員に連絡、事務宛ての書類の作成などに取

り組んだ。チームとして活動うまくいくよう気配りを行った。また、光学望遠鏡班として、マニュアルの読解を行った。専門用語が多く、理解できないものは指導教員に指導してもらった。今回、撮影する対象を木星と、月と決め撮影を行ったが、機器に不具合が生じたが、メーカに連絡し解決方法を聞いたりし対象の撮影に成功した。

（※文責: 堀越久登）

2. 野口一樹

．IDL 及び解析プログラムに対する理解

まず、データ解析に使用する IDL について、教員から指導を受け学習した。その後、昨年度の解析プログラムについてもどのような事が行われているのかについて学習した。

．S-バーストの確認とドリフト率の算出

5 分の時系列データに対して 300 枚のスペクトろグラムが作成されるため、多くのスペクトログラムが作成されることになる。そのため、メンバーで分担して S-バーストの有無について調べていった。10 月 28 日のデータにおいて、S-バーストの存在が確認できたため、ドリフト率の計算を行い、過去の木星のデータとの比較を行なった。その結果、ここのデータと近似していたため S-バーストの受信に成功したと強く主張することが出来た。

（※文責: 野口一樹）

3. 見澤友哉

まずはじめに、プロジェクトメンバーがそれぞれ、宇宙に関する知識を得るために、セミナーを行った。次に、光学望遠鏡と電波望遠鏡による観測の班に分けて活動を行った。私は木星電波観測班として、アンテナの組み立て方や、レシーバの使い方を習得するために、アンテナ設置マニュアルや、レシーバの説明書を読んだ。NASA のソフトウェアを用いて木星電波観測日の予測を行った。木星電波観測日には、アンテナの設置や組み立て、レシーバの設定と電波の記録を行った。また、電波観測の工夫として、観測システム全体のチェック方法についてまとめた。特に、アンテナの受信状況を入念に調べることに重点を置いた。

（※文責: 見澤友哉）

4. 鍔山匠

メンバー全員が光学望遠鏡の知識を持っていなかったため、まずは光学望遠鏡についての英語の資料を各自で読むことから始まった。英語の資料だったため、理解に時間がかかった。実際に、光学望遠鏡をもちいての撮影では、天体は常に動いているためにうまく撮影できなかったり、天候にも左右され非常に難しいが、試行回数を増やして理解していった。

（※文責: 鍔山匠）

5. 野久拓真

光学望遠鏡班としては、光学望遠鏡での天体観測において、実際に月と木星の観測を行った。まず、光学望遠鏡の使い方を、取扱説明書を読む事で学び、実際に組み立てた。CCD カメラの接続方法、パソコンでのキャプチャーソフトの使用方法についても、それぞれ付属のマニュアルを熟読する事で、天体観測への備えを万全にした。実際の天体観測においては、まずは木星ではなく月を撮影する事で、望遠鏡の使い方を練習した。更に、天体シミュレーションソフトウェア（ステラナビゲータ Ver.9 体験版）を用いたり、インターネットで

の検索により、月や木星の位置を調べた。前期では月を撮影する事が出来なかったので、後期では更にマニュアルを読み込み、実際に望遠鏡を使用しての練習を繰り返し、月を撮影する事に成功した。また、木星を撮影する事にも成功した。

（※文責: 野久拓真）

4.7 担当課題と他の課題の連携内容

1. 堀越久登

   電波望遠鏡班と光学望遠鏡班は、人数が少ないため毎回同じ場所で作業し、片方の作業が大変なときはもう片方の班が手伝う形をとった。具体的には解析の際に、膨大な数のスペクトル図をチェックするのを両班で行った。電波観測の際も両班とも集まって協力して準備、後片付けを行った。また、リーダーとして、観測の際の集合時間や実施要項などを伝えた。

   （※文責: 堀越久登）

2. 野口一樹

   解析班と他の班との連携としては、解析プログラムの内容やドリフト率の計算方法について、プレゼンを行うことで情報を共用した。また、前期においては、各分野においてのプレゼンテーションを行うことで情報を共有した。S-バーストの有無に関しては、グループ内で分担し確認を行なった。

   （※文責: 野口一樹）

3. 見澤友哉

   木星電波観測日には、観測時間の 2，3 時間前にプロジェクトメンバー全員が大学に集合しアンテナの設置や、レシーバ、PC との接続を行った。その際に、アンテナの向きや、ケーブルの接続方法の指示を行うことで連携を図った。電波観測中はメンバーが交代でアンテナやレシーバに以上がないか確認した。また、他のメンバーの手が空いているときは、アンテナやケーブルの点検を手伝ってもらった。木星電波の解析では、大量の周波数スペクトラム図から木星である可能性が高い電波をピックアップする作業を分担して行った。

   （※文責: 見澤友哉）

4. 鍔山匠

   担当課題は光学望遠鏡による撮影方法の理解を深めることである。光学望遠鏡によって木星の撮影に成功すると、木星がどの方向から電波をだしているか、レシーバで受信した電波が本当に木星のものであるのか、などの裏づけにつながってくる。

   （※文責: 鍔山匠）

5. 野久拓真

   光学望遠鏡班として、堀越、鍔山と共に、光学望遠鏡の組み立て、CCD カメラの接続、パソコンでのキャプチャーソフトの使い方を学んだ。また、電波望遠鏡班とは、電波観測に用いるアンテナのポール組み立てや、機材を運ぶなど、プロジェクト全員で行う必要がある作業を連携して行った。また、天文学の歴史について、プロジェクト全員でセミナーを行う事

で、実際の観測への準備をした。

実際に電波を受信した後、木星電波が受信できたのかどうかを確認する必要がある。その為、受信したデータを解析プログラムで解析し、作成した周波数スペクトル図を、目視でもってそれぞれのメンバーが確認した。その際、一人およそ 1000 枚ほどの周波数スペクトル図を確認し、木星電波の特徴の有無を調べた。

（※文責: 野久拓真）

第 5 章　結果

5.1　プロジェクトの結果

前期は、電波天文学や木星電波の発生メカニズムをセミナーを行うことによってプロジェクトメンバー皆がが学習することができた。次に、プロジェクトメンバーを電波望遠鏡による木星電波観測と光学望遠鏡による天体の観測の 2 つの班を分けて、それぞれ観測手順や観測機器の使い方を学んだ。木星電波観測の班は、木星電波観測日の予測、アンテナの設置やレシーバの使い方を学んだ。また、IDL ソフトウェアを用いたデータ解析の方法についても学習した。光学望遠鏡の班は、目標天体の自動追跡の方法や CCD カメラを用いた天体の撮影方法など光学望遠鏡の使い方全般について学習した。前期の活動では、観測日の 2 日のうち 1 日が天候が悪く観測できなかったこともあり、木星電波の特徴である s ーバーストの検出にはいたらなかった。光学望遠鏡による天体の撮影は、曇りや雨などの天候が続いたため行えていなかった。

後期は、木星電波観測とそのデータ解析を中心に活動を行った。前期では木星電波を受信することができなかったので後期には、観測システム全体のチェック方法についてまとめ実施した。後期は観測予定日 5 日のうち、4 日観測することができた。そして、10 月 28 日の木星電波観測データに木星電波の特徴である s ーバーストのドリフト現象である可能性が高いデータが確認できた（図 4.27)。その電波のドリフト率を過去の研究データより得られた、木星電波のドリフト率と比べることにより検証を行った（図 4.31)。その結果、後期には木星からのものであると強く主張できる電波を観測することに成功した。また、光学望遠鏡を用いて月や、木星とその周りを回る衛星の撮影をすることができた（図 4.45)。

（※文責: 見澤友哉）

5.2　成果の評価

本プロジェクトにおいて評価できる点は、プロジェクトメンバー皆がプロジェクトの活動を通して、電波天文学や宇宙物理学についての知識を得ることができ、それぞれの班のメンバーが木星電波の観測手順や、光学望遠鏡やＣＣＤカメラの使い方を理解したことである。宇宙物理学について、各自がセミナーを行うことでメンバー全員が知識を得ることができた。また、木星電波を観測できる日は限られているので、観測当日のトラブルを避けるため、事前に観測日同様にアンテナを立てる練習を行い、アンテナやケーブルの点検を行ったことである。後期には、木星電波観測システム全体のチェック方法についてチェックリストとしてまとめた。本プロジェクトにおいて大いに評価できる点はプロジェクトの目的である木星からの電波の受信に成功したことである。そして、光学望遠鏡を用いて月や木星を撮影できたことである。

1. 中間発表の成果

   ここでは、2011 年 7 月 15 日に行われたプロジェクト学習の中間発表の評価をまとめた。発表技術と発表内容の 2 つの項目について、1（非常に悪い）から１０（非常に優秀）までの間で記入するものと、それぞれの項目について、自由にコメントを記述して頂いた。回答総

数は４２で発表技術の評価の平均点は５．５点、発表内容の平均点は５．９点であった。発表技術に関しては、発表中に紙を読んでいることに対する意見や、声が小さく聞き取りづらいといった意見が多く見られた。発表内容に関しては、スライドが分かりやすいことの高評価や、発表内容が難しい、プロジェクトの成果が分かりづらいという意見が多く見られた。

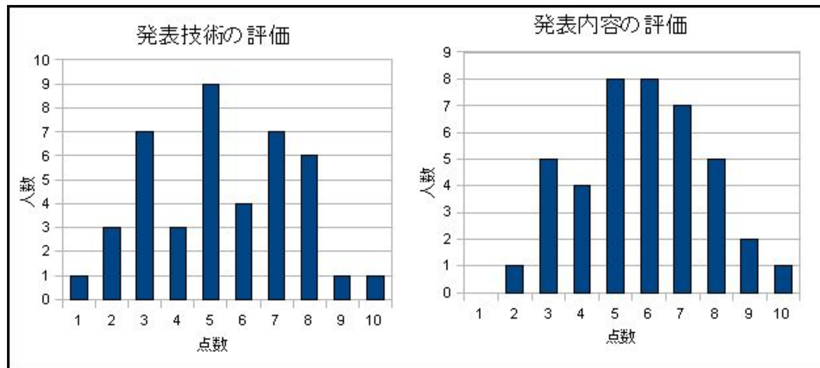


図 5.1　中間発表の成果のグラフ

（※文責: 見澤友哉）

2. 最終発表の成果

ここでは、2011 年 12 月 9 日に行われたプロジェクト学習最終発表の評価をまとめた。発表技術と発表内容の 2 つの項目について、１（非常に悪い）から１０（非常に優秀）までの間で記入するものと、それぞれの項目について、自由にコメントを記述して頂いた。回答総数は４３で発表技術の平均点は７．３点、発表内容の平均点は７．０点であった。発表技術に関しては、声が聞き取りやすい、プロジェクトの成果が分かりやすいなどの高評価が多かった。発表内容については、スライドが分かりやすい、説明が分かりやすいことの高評価や、専門用語が多いことに対する意見が複数見られた。

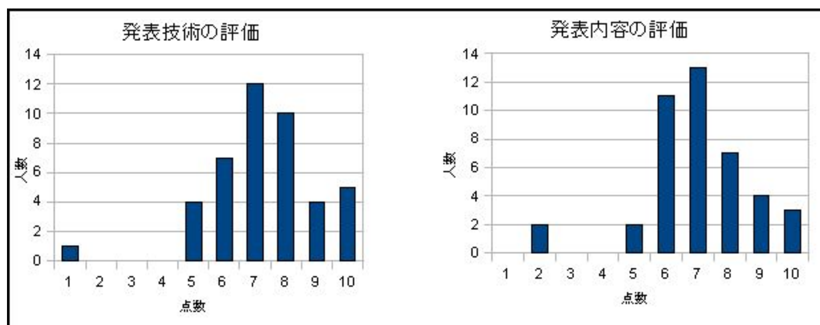


図 5.2　最終発表の成果のグラフ

（※文責: 見澤友哉）

5.3 担当分担課題の評価

1. 堀越久登

   本プロジェクトにおいてリーダーとしての課題とした円滑なプロジェクト遂行ができる環境づくりについては反省すべき点が多い。グループ週報の提出し忘れはメンバー全員に迷惑をかけてしまった。本当に申し訳ないと思っている。メンバーが一人来なくなってしまったのも、もっと何かやってあげれたのではないかと反省している。しかし、指導教員との連絡や、メンバーへの気配り、光学望遠鏡を用いての天体の撮影などは精一杯行った。

   （※文責: 堀越久登）

2. 野口一樹

   前期においては木星の電波発生のメカニズムや木星の周りを回る衛生などの知識を深めるために、各自プレゼンテーションを行なった。このことにより、木星についての知識を深めることができた。また、IDL についても教員から指導を受けて、コマンドなどの学習を行なった。前期にいおいては、天候にめぐまれず、一回だけ昨年の解析プログラムを利用して、解析を行なった。後期においては、解析プログラムが何をしているのか具体的に教員から説明を受け学習した。また、S-バーストを受信することが出来たので、そこからドリフト率を計算し、過去の木星からの電波だと証明されたデータとの比較も行なった。この一年間を通して、解析における一連の流れを学習することが出来た。また、新しいレシーバーを用いて初めて木星の電波の受信にも成功することが出来た。

   （※文責: 野口一樹）

3. 見澤友哉

   木星電波観測に必要なアンテナや、レシーバの知識を習得し、電波観測時に実際にアンテナの組み立てや、レシーバの設定、データの保存などを円滑に行い、他のメンバーに適切な指示を出すことができた点は評価できる。セミナーや電波観測を通じて、宇宙物理学や電波天文学の知識を得られたことも評価できる。今年度 5 回の電波観測により、木星電波の特徴であるｓ-バーストのドリフト現象であると強く主張できる電波を観測できたことは一番評価できる点である。電波観測の工夫として、観測システム全体のチェック方法をまとめたことも今年度の成果である。

   （※文責: 見澤友哉）

4. 鍔山匠

   今年度初めてとなる光学望遠鏡のグループの一員として、光学望遠鏡の組み立て方や、PC につないでの木星の撮影方法などを理解した。その成果として、木星の画像の撮影に成功し、さらに木星の衛星も画像として残せている。従って、担当分担課題の成果は十分と残せたと思う。

   （※文責: 鍔山匠）

5. 野久拓真

   光学望遠鏡班としては、実際の天体観測に成功した。その際、天体シミュレーションソフト

ウェア（ステラナビゲータ Ver.9 体験版）を用いた天体の位置探索という形や、望遠鏡の組み立てという形で貢献する事が出来た。また、電波望遠鏡での電波観測では、ポールの組み立て、機材の接続などで貢献する事が出来たと考える。その他、中間発表、最終発表では実際に発表を行う事で、プロジェクトへの貢献を果たしたと考える。

（※文責: 野久拓真）

第 6 章　今後の課題と展望

今年度は、基礎的な天文学や信号解析など、電波観測に必要な知識を学習し、それらに基づいて電波観測を行った。そして、広範囲の周波数を受信可能なレシーバで初めて、木星電波であると強く主張できる電波の受信に成功した。また、今年度から取り組んだ光学望遠鏡についても天体の撮影に成功した。しかし、振り返ってみると改善すべき点が多数存在した。大きく分類して 3 つあるので、順に述べていく。まず 1 つ目は、10 月 28 日に観測した木星のデータについてだが、今回受信したデータは今までの研究結果でわかっている典型的な木星電波のデータに比べて、今回入っている S-バーストのドリフト現象の数が少なく一目で木星電波だという確証が取れなかった。今後は、一目で木星電波とわかるような典型的なデータを観測できるよう、観測機器などを見直していたい。次に、解析方法についてだが今年度は既存の解析プログラムを用いて解析を行った。今後は、今回の最新の情報を取り入れて、解析プログラムを改善していきたい。また、来年は木星の周期的に木星電波を受信できる可能性が高いので期待したい。3 つ目は、光学望遠鏡についてだが、今回が初めての取り組みということで基礎的なことから始めなければならなかったため、応用的なことが十分に行えず、今回撮影した写真も機器の性能を十分に生かすことができなかった。今後は今年度の経験を生かし、より鮮明な写真を撮影できるよう努力したい。最後に今回プロジェクトで学んだことをあらゆる場面において活用していきたい。

（※文責: 堀越久登）

参考文献

[1] 吾川木星電波観測所, 2005. http://www14.plala.or.jp/shimona23/06mokusei/mokusei.html

[2] 国立科学館, 宇宙の質問箱, 2008. http://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/jupiter/ph_01_redspot.html

[3] Healthy House, 人に優しい住まい,2005. http://www.healthyhouse.jp/taisaku_03.html

[4] NASA Project Radio Jove , 2003.

[5] P.Zarka et al., A scenario for Jovian S – bursts, Geophysical Reseach Letters, VOL.23, NO.2, pp.125-128 , JANUARY 15, 1996.

[6] Meade instruments, 2012. http://www.meade.com/

[7] 国立天文台, 君が天文学者になる 4 日間テキスト, pp.19-20,2005. http://www.nao.ac.jp/kimiten/2006/main.pdfpp